

**BERICHTE AUS DER BAYERISCHEN LANDESANSTALT
FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT**

Waldzustandsbericht 2001



Waldzustandsbericht 2001

Waldzustandsbericht 2001
Waldzustandsbericht 2001

Titelbild: Gegenlicht [Foto: K. BRÄNDLEIN].

ISSN 0945 - 8131

- Herausgeber und Bezugsadresse** Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Am Hochanger 11
85354 Freising
Tel.: 08161 / 71 - 4881 Fax: - 4971
Email: poststelle@fo-lwf.bayern.de
- Verantwortlich** Olaf Schmidt, Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- Text:** Hans-Peter Dietrich, Dr. Margret Feemers, Georg Gietl, Silke Hackenberg, Dr. Martin Kennel, Dr. Christian Kölling, Dr. Franz Josef Mayer, Dr. Stephan Raspe, Alfred Schubert, Christoph Schulz, Hans-Ulrich Sinner M.Sc., Dr. Andrea Spangenberg (alle LWF), Dr. Monika Konnert (LSP), ferner Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Bayerischen Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten, für Landesentwicklung und Umweltfragen sowie für Wirtschaft, Verkehr und Technologie
- Graphiken, Poster:** Katharina Brändlein, Gudrun Faißt, Silke Hackenberg, Holger Holland-Moritz, Dr. Franz-Josef Mayer und Felix Ruggiero
- Statistik:** Holger Holland-Moritz und Dr. Franz- Josef Mayer
- Layout, DTP:** Katharina Brändlein und Silke Hackenberg
- Internetbearbeitung:** Gerhard Huber
- Redaktion, Konzeption:** Dr. Franz-Josef Mayer, Hans-Ulrich Sinner M.Sc. und Christian Wild
- Schriftleitung** Christian Wild
- Internet:** <http://www.lwf.uni-muenchen.de>
<http://www.forst.bayern.de>

© November 2001, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft



Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Waldzustandserhebung in Bayern 2001	7
2.1 Stichprobenumfang und Qualitätssicherung	7
2.2 Methode und Durchführung der Erhebung	7
2.3 Erfassung entnommener und abgestorbener Bäume	8
2.4 Witterung und Wasserhaushalt 2000/2001	10
2.5 Ergebnisse der terrestrischen Kronenzustandserhebung	15
2.5.1 Inventurergebnis für die Fichte	17
2.5.2 Inventurergebnis für die Kiefer	19
2.5.3 Inventurergebnis für die Tanne	21
2.5.4 Inventurergebnis für die Buche	21
2.5.5 Inventurergebnis für die Eiche	23
2.5.6 Altersabhängig der Nadel-/Blattverluste	26
2.6 Ergebnisse aus den Forstlichen Wuchsgebieten	27
2.7 Ergebnisse aus den Regierungsbezirken	32
3. Dauerbeobachtungsflächen	33
4. Eintrag von Luftverunreinigungen in die Wälder	39
4.1 Schwefeleinträge	39
4.2 Stickstoffeinträge	40
5. Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Wälder	44
5.1 Versauerung und Eutrophierung der Wälder	45
5.2 Folgen für die Waldböden	47
5.3 Beeinträchtigung der Waldernährung	47
6. Maßnahmen zur Emissionsminderung	49
6.1 Schwefeldioxid	49
6.2 Stickoxide	50
6.3 Ozon	51
6.4 Ammoniak	52
6.5 Kohlendioxid	52
6.6 Ziele und Maßnahmen zur Emissionsminderung	54
7. Schutzwaldsanierungsprogramm	56
8. Biotische Schäden	57
9. Genetische Struktur bewirtschafteter Waldbestände	58
10. Summary	59
11. Literatur	62

1 Zusammenfassung

Monitoringprogramm

Die landesweit jährlich durchgeführte systematische Kronenzustandserhebung ist fester Bestandteil des umfassenden Programms der Bayerischen Staatsforstverwaltung zur vorsorgenden Umweltkontrolle. Sie wurde - wie zuletzt 1997 - im verdichteten 4 km x 4 km-Raster durchgeführt und ermöglicht so auch Aussagen für die forstlichen Wuchsgebiete als Gliederungseinheiten des Naturraums. Zu diesem Monitoringprogramm gehören ferner ein Netz von Dauerbeobachtungsflächen zum Bodenzustand und insbesondere die 22 Bayerischen Waldklimastationen mit ihrem umfangreichen Messprogramm. Die integrierte Auswertung dort erhobener und weiterer Daten (z. B. meteorologische Werte des Deutschen Wetterdienstes) ermöglicht es, den Gesundheitszustand des Waldes und des Waldbodens zu dokumentieren, Entwicklungen zu erkennen und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren

auf das Ökosystem Wald aufzuzeigen.

Bayernweite Ergebnisse

Die Ergebnisse beruhen auf der systematischen Aufnahme von 1671 Stichprobenbeständen mit insgesamt fast 74.000 Bäumen. Landesweit blieb das durchschnittliche Nadel-/ Blattverlustprozent mit 19,7 % gegenüber dem Vorjahr praktisch unverändert, hat sich gegenüber 1997 aber um 2,3 Prozentpunkte deutlich verschlechtert. Dieser mehrjährige Trend führte auch zu einem Anstieg der deutlichen Schäden (Schadstufe 2-4) auf 25 %, sechs Prozentpunkte mehr als im Jahr 1997. Eine während der Vegetationszeiten 2000 und 2001 in Teilen Bayerns deutlich eingeschränkte Wasserversorgung wie auch andere natürliche Faktoren mögen mit Einfluss auf dieses Ergebnis haben, können aber die bereits seit 1996 anhaltende Entwicklung nicht allein erklären. Der Kronenzustand der **Fichte** hat sich zum Vorjahr leicht,

gegenüber 1997 aber deutlich verschlechtert. Das mittlere Nadelverlustprozent ist seitdem kontinuierlich um 2,9 Prozentpunkte auf 19,4 % angestiegen, die deutlichen Schäden von 19 % auf 26 %.

Die **Kiefer** reagiert aufgrund ihrer geringen Anzahl an Nadeljährgängen besonders sensibel auf Umweltveränderungen. Die deutlichen Schäden sind seit 2000 um gravierende 8 Prozentpunkte auf 25 % gestiegen. Seit 1997 haben sie sich fast verdoppelt. Das Nadelverlustprozent ist in diesem Zeitraum kontinuierlich um 4,9 Punkte auf 21,6 % gestiegen.

Bei der **Tanne** zeigen die Werte nach Jahren der Stagnation auf hohem Niveau eine deutliche Verschlechterung. Mit 29,7 % mittlerem Nadelverlust und 51 % (Vorjahr 43 %) deutlichen Schäden ist sie weiterhin die mit Abstand am stärksten geschädigte Baumart. Für diese vor allem im Bergwald unverzichtbare Baumart ist dies ein ausgesprochen negativer Befund.

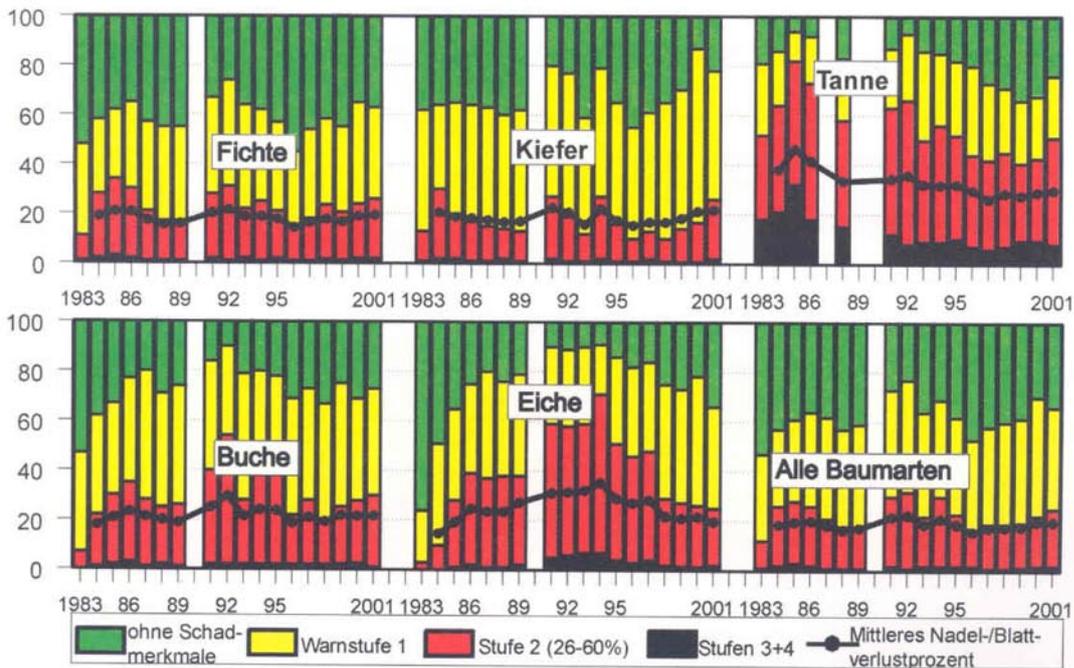


Abbildung 1: Zeitreihe der Schadstufenverteilung und der mittleren Nadel-/Blattverlustprozente vom Jahr 1983 bis 2001

Die **Buche** blieb mit einem mittleren Blattverlustprozent von 21,7 in etwa auf dem Niveau der Vorjahre. Regionale deutliche Verbesserungen und Verschlechterungen hielten sich in den letzten Jahren die Waage. Auch die deutlichen Schäden haben sowohl im Vergleich zum Vorjahr als auch zu 1997 nur um zwei Prozentpunkte auf 30 % zugenommen. Biotische Schäden durch holzzerstörende Insekten, wie sie vor allem aus Belgien berichtet werden, konnten in Bayern nicht beobachtet werden.

Der Erholungstrend der **Eiche** hält an. Die mittleren Blattverluste haben sich nach dem Maximum im Jahr 1994 von 35,2 % auf nunmehr 19,6 % fast halbiert. Die deutlichen Schäden sind entsprechend von 71 % auf 24 % zurückgegangen. Hauptursache ist der Rückgang der Fraßschäden durch Eichenwickler, Frostspanner und Schwammspinner, die in diesem Jahr nur noch knapp jede zehnte Eiche beeinflusst haben. Auch die Auswirkungen von „Sekundärschädlingen“, die geschwächte Eichen zum Absterben bringen, haben stark abgenommen. Die Absterberate der Eiche ist aber noch immer vergleichsweise hoch.

Regionale Ergebnisse

Die Kronenzustandserhebung ergab deutliche regionale Unterschiede. Im Vergleich zu 1997 konnten vor allem die laubholzreichen Wuchsgebiete in Nordwestbayern ihr Ergebnis verbessern. Sowohl Eiche als auch Buche weisen dort wesentlich geringere Schäden auf. Auch in Wuchsgebieten, die in diesem Jahr besonders vom Trockenstress betroffen waren (Fränkische Platte, Keuper und Albvorland, Frankenalb und Oberpfälzer Jura), hat sich die Eiche weiter verbessert. Fichte und Buche, vor allem aber die Kiefer weisen dort jedoch eine ausgeprägte Zunahme der deutlichen Schä-

den auf. Gleiches gilt für die nordostbayerischen Mittelgebirge von Frankenwald / Fichtelgebirge über den Oberpfälzer Wald bis zum Bayerischen Wald: Die deutlichen Schäden an Fichte und Kiefer haben kräftig zugenommen, vor allem im Bayerischen Wald auch die Schäden an Tanne und Buche. In den Flach- und Hügellandgebieten südlich der Donau sind kaum gravierende Änderungen festzustellen. Die Entwicklung in den **Bayerischen Alpen** ist dagegen weiterhin besorgniserregend. Sie sind mit Abstand das Wuchsgebiet in Bayern mit den höchsten deutlichen Schäden (37 %), und liegen 12 Prozentpunkte über dem bayerischen Durchschnitt. 1999 lag das Schadensniveau noch bei 33 %, 1997 bei 31 %. Insbesondere die Tanne, aber auch die Fichte und das sonstige Laubholz (vor allem Bergahorn) haben sich dort erneut deutlich verschlechtert. Die Buche zeigt seit 1994 ein unverändert hohes Schadniveau von 34 %. Die Schutzfunktion des Bergwaldes erfordert verstärkte Anstrengungen, um diese Funktionen zu erhalten bzw. wiederherzustellen.

Dauerbeobachtungsflächen

Die Dauerbeobachtungsflächen im Bergwald bestätigen die negativen Ergebnisse der systematischen Inventur in den Bayerischen Alpen. Für das ganze Land zeichnet sich vor allem bei Fichte eine Höhenabhängigkeit der Kronenverlichtung ab. Ein Teil der Flächen ist von Sondereinflüssen, vor allem Stürmen, geprägt, die Mehrzahl der Beobachtungen entspricht der Entwicklung der Kronenverlichtung bei den systematischen Inventuren. Ausnahmen, z. B. verbesserter Kronenzustand trotz extrem eingeschränkter Wasserversorgung, zeigen, dass die Entwicklung der Schäden nicht ausschließlich vom Witterungsverlauf gesteuert ist.

Emissionen / Immissionen

Die Messreihen der Stoffein- und -austräge an den Waldklimastationen umfassen zum Teil bereits zehn Jahre und ergeben ein zunehmend präziseres Bild zur Entwicklung der Schadstoffbelastung. In Folge der in den 80-er Jahren begonnenen Reduzierung der Schwefel-emissionen sind die Einträge an allen Stationen auf ungefähr ein Viertel der Ausgangswerte gesunken. Sie erreichen nur noch an den Stationen Goldkronach, Flossenbürg und Rothenkirchen Werte von über 10 kg je Jahr und Hektar. Für die dortigen, von Natur aus sauren Standorte stellt dies auch weiterhin eine ernsthafte Belastung dar. Die Zeitreihen der Stickstoffeinträge zeigen dagegen landesweit konstant hohe Werte, vor allem in Nadelbaumbeständen, da diese die Schadstoffe ganzjährig sehr effektiv ausfiltern.

Der Gesamtsäureeintrag (NH_4 , NO_3 und SO_4) der Wälder ist weiterhin unverändert hoch und zeigt nur eine geringe Tendenz zur Abnahme. An der Hälfte der Waldklimastationen werden die tolerierbaren Säureeinträge überschritten, die die Böden noch abpuffern können. Dadurch steigt die Gefahr erhöhter Stoffausträge mit dem Bodensickerwasser mit negativen Folgen für die Nährstoffversorgung der Bestände und für das Grundwasser.

Forstliche Maßnahmen

Waldbauliche Maßnahmen allein können nicht auf Dauer die zu hohen Einträge vor allem an Stickstoff kompensieren. Waldumbau in standortgemäße Mischwälder verbunden mit einer naturnahen Bewirtschaftung der Wälder können aber ebenso wie begrenzte Kalkungsmaßnahmen auf den von Natur aus schon sauren Böden Nordost- und Ostbayerns dazu beitragen, die Zeit bis zur durchgeführten Emissionsreduzierung zu überbrücken.

Resümee

In Bayern sind bislang Wälder nicht auf größerer Fläche abgestorben. Trotz zum Teil hoher Blatt-/Nadelverluste bewegt sich die Absterberate bei allen Baumarten weitgehend im natürlichen Bereich.

Die Verschlechterung im Landesdurchschnitt im Vergleich zu 2000 lässt sich teilweise durch regionale Witterungseinflüsse erklären. Für den Verschlechterungstrend seit 1997, v.a. bei den Nadelbäumen, gilt dies nur bedingt. Die nach wie vor hohen Emissionswerte - v.a. an Stickstoff (Stickoxide, Ammoniak) und Ozon - stellen eine nunmehr langjährige Dauerbelastung dar und haben anerkanntermaßen einen Ein-

fluss auf den Kronenzustand und die Vitalität der Wälder und Waldböden.

Die Waldzustandserhebungen weisen seit 1983 zum Teil erhebliche Schwankungen in den Schadensprozenten auf. Relative Erholungsphasen wechseln mit akuten besorgniserregenden Ergebnissen ab. Dies deutet zum einen auf ein immer noch ausreichendes Maß an Regenerationsfähigkeit unserer Wälder hin, wenn Stressfaktoren wegfallen (Eiche). Andererseits zeigt sich aber auch eine sensible und rasche Reaktion bei negativer Änderung von Einflussfaktoren (Beispiel Tanne und Kiefer). Ausmaß und Dauer der inzwischen chronischen Belastung

mit schädlichen Luftschadstoffen und Säureeinträgen in den Boden sowie die in bestimmten Regionen (v. a. Nord- und Ostbayern) schwindende Pufferkapazität der Böden selbst scheinen gerade für die letztgenannte Reaktion besonders entscheidend.

Maßnahmen zur Emissionsminderung haben weiterhin hohe Bedeutung und müssen verstärkt werden, vor allem bei den Stickstoff-Emissionen. Dies gilt im Hinblick auf die Gesundheit unserer Wälder, dem Erhalt ihrer Schutz- und Erholungsfunktionen und damit dem Wohl und der Gesundheit der gesamten Bevölkerung.

2 Waldzustandserhebung in Bayern 2001

Waldbäume sind hervorragend geeignet, Umwelteinflüsse und deren Auswirkungen zu beobachten. Die „terrestrische Kronenzustandserhebung“ bedient sich der Tatsache, dass Bäume mit ihren Blattorganen auf äußere Einflüsse sowohl kurz- als auch langfristig sichtbar reagieren und so Veränderungen der Umwelt aufzeigen. Systematisch ausgewählte Bäume werden seit 17 Jahren jährlich nach derselben Methode begutachtet. Nadel- und Blattverluste verursacht durch biotische (z. B. Schädlingsbefall) oder abiotische (z. B. durch

Sturm, Emissionen) Schädigungen des Baumes werden von Inventurteams vom Boden aus erfasst und eingeschätzt. Zusätzlich wird die Vergilbung als weiterer Schadens-Indikator und die Fruktifikation als Ausdruck der Vitalität des Baumes mit aufgenommen.

Die Inventur stellt damit eine „Momentaufnahme“ des Vitalitätszustandes des Waldes dar, wie sie sich aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren ergibt. Dazu gehören aber auch natürliche Einflüsse wie lang anhaltende trockene Witterung.

Die seit 1983 in Bayern erhobenen Daten erlauben statistisch abgesicherte Aussagen zum Gesundheitszustand des Waldes.

Das Kartierverfahren wurde maßgeblich an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) entwickelt und kommt heute in über 35 Ländern Europas sowie in Kanada, USA und Weißrussland zum Einsatz. Damit sind flächendeckende großräumigere Aussagen zum Waldzustand und seine Entwicklung möglich (z. B. Europäischer Waldzustandsbericht 2000).

2.1 Stichprobenumfang und Qualitätssicherung

Die Waldzustandsinventur erfolgt jährlich europaweit im 16 km x 16 km Raster. Um auch regionale Aussagen mit ausreichender statistischer Sicherheit machen zu können, wurde in diesem Jahr eine Vollerhebung im 4 km x 4 km Raster durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen und Grafiken für die forstlichen Wuchsgebiete (Abbildung 16) und nach Regierungsbezirken ausgegeben. Alle 1.686 Inventurbestände der im Jahr 1983 angelegten Stichprobe wurden auch heuer aufgesucht. In 1.671 Waldbeständen wurden insgesamt 73.982 Bäume begutachtet. Drei Bestände schieden wegen

Rodung aus der Stichprobe aus. 12 Bestände „ruhen“ in diesem Jahr, da der ursprüngliche Bestand nicht mehr vorhanden ist und die dort nachfolgende Verjüngung für eine sinnvolle Aufnahme noch zu klein (unter 60 cm) ist. Der Ausfall dieser 15 Bestände hat aber keine Bedeutung für das Gesamtergebnis.

Die Kartierung wurde von 93 Beamten der Bayerischen Staatsforstverwaltung in einem Zeitraum von 3 bis 4 Wochen ab Ende Juli durchgeführt.

Die Qualitätssicherung der Aufnahmen wird durch mehrere Faktoren gewährleistet: Die beteiligten Mitarbeiter der LWF nahmen an einem bun-

desweiten Feinabstimmungskurs teil. Alle bayerischen Kartierer – auch solche, die bereits in früheren Jahren mitgearbeitet haben – nahmen an jeweils 1-wöchigen Schulungen durch die LWF teil, in denen sie auf die Kronenzustandsbeurteilung vorbereitet wurden.

Zusätzlich erfolgten an rund 20 % der Inventurpunkte verdeckte und offene Kontrollen der Ergebnisse durch die Inventurbeauftragten der Forstdirektionen und Mitarbeiter der LWF. Durch die intensiven Schulungen und Kontrollen wird sichergestellt, dass die Aufnahmen räumlich und zeitlich vergleichbar sind.

2.2 Methode und Durchführung der Erhebung

Das Verfahren zur Erhebung des Kronenzustandes ist seit Beginn der Inventuren unverändert. Damit sind die Ergebnisse nicht nur landesweit, sondern auch zeitlich über die Jahre hinweg vergleichbar. Die Belaubung bzw. Benadelung der Inventurbäume wird im Vergleich zu einem vollständig belaubten bzw. benadelten Baum (Referenzbaum) einge-

schätzt. Das Ausmaß der Nadel- bzw. Blattverluste wird in 5 %-Stufen unabhängig von der Ursache eingewertet. Einzig mechanische Beschädigungen durch Nachbarbäume, wie Schlag- oder Peitschschäden, werden nicht in die Kronenansprache mit einbezogen. Wo wegen Lichtmangels durch Konkurrenz von Nachbarbäumen die Kronenausbildung

erkennbar eingeschränkt ist, endet auch der Bereich für die Einwertung der Nadel- bzw. Blattverluste (Boniturbereich). Zusätzliche Beobachtungen an den Stichprobenbäumen sind für die Interpretation der Ergebnisse von Bedeutung. Wichtige Parameter sind der Umfang der Nadel- bzw. Blattverluste durch Schädlinge, das Ausmaß von Vergilbungen der

Tabelle 1: Einteilung der Bäume in Schadstufen und deren Charakterisierung

Schad- stufe	Nadel-/ Blattver- lust	Kurzbezeichnung	Charakterisierung
0	0 - 10%	ohne Schadmerkmale	<i>Alle Bäume mit bis zu 10% Nadel- bzw. Blattverlust; diese werden mit der Bezeichnung „ohne Schadmerkmale“ charakterisiert.</i>
1	11 - 25%	schwach geschädigt oder „Warnstufe“	<i>Bäume in dieser Schadstufenklasse werden als „schwach geschädigt“ bezeichnet. Bereits 1989 relativierte der Forschungsbeirat „Waldschäden und Luftverunreinigungen der Bundesregierung und der Länder“ dies in seinem dritten Bericht: „Die Bäume der Stufe 1 mit 11 - 25% Nadel- bzw. Blattverlust wurden als „kränkelnd“ oder „schwach geschädigt“ bezeichnet. Die bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die natürlichen Schwankungen der Benadelungs- bzw. Belaubungsdichte in diese Stufe hineinreichen. Sie ist deshalb als „Übergangstufe“ oder „Warnstufe“ zu interpretieren.“</i>
2	26 - 60%	mittelstark geschädigt	<i>Erst bei mehr als 25% Nadel-/Blattverlust sind nach Ansicht des Forschungsbeirates eindeutige Schäden festzustellen. Bäume der Schadstufe 2 werden als „mittelstark geschädigt“ beschrieben.</i>
3	61 - 99%	stark geschädigt	<i>Alle stark geschädigten Bäume mit Nadel- oder Blattverlusten von mehr als 60%.</i>
4	100%	abgestorben	
Schad- stufe 2 - 4	26 - 100%	deutliche Schäden	<i>Die Summe der Bäume in Schadstufe 2 – 4 wird international auch unter den „deutlichen Schäden“ zusammengefasst und im wesentlichen zur Beurteilung des Waldzustandes herangezogen.</i>

Blatt- bzw. Nadelmasse und der Grad der Fruktifikation. Werden tote Bäume vorgefunden, wird der Grund des Absterbens erfasst.

Müssen Ersatzbäume ausgewählt werden, ist die Ursache des Ausscheidens des Originalbaumes aus der Stichprobe von besonderem Interesse. Die

Einwertung der Nadel- oder Blattverluste erfolgt traditionell in Schadstufen, die in Kombination aus Nadel-/ Blattverlust und Vergilbung gebildet werden (Tabelle 1).

Daneben haben sich die Darstellung von Häufigkeitsverteilungen der Nadel-/ Blattverluste und das mittlere Verlust-

prozent (arithmetisches Mittel) als Weiser für den Kronenzustand bewährt. Damit lassen sich Veränderungen arithmetisch skaliert darstellen (Kapitel 2.5) und „Sprünge“ in der Schadstufenverteilung bei geringfügigen Verschiebungen im Bereich der Klassengrenzen vermeiden.

2.3 Erfassung entnommener und abgestorbener Bäume

Bei der Inventur im Jahr 2001 wurden gegenüber der letzten Vollinventur 1997 4.331 Bäume ersetzt (Tabelle 2). Die meisten Bäume wurden im Rahmen einer planmäßigen Nutzung entnommen, bei 595 Bäumen war die Ursache für ihre Entnahme nicht mehr ermittelbar. Damit sind 5,9 % der Bäume seit der letzten Inventur im 4 km x 4 km Raster neu in die Stichprobe aufgenommen worden.

Durch den relativ hohen Umfang an Ersatzbäumen blieb das durchschnittliche Alter der Stichprobe nahezu konstant (Tabelle 3). Von besonderem Interesse ist bei einer Vollerhe-

bung im 4 km x 4 km Raster die Anzahl abgestorbener Bäume. Verglichen mit den Ergebnissen auf den Dauerbeobachtungsflächen, die nicht der freien Bewirtschaftung unterliegen, gibt die Zahl abgestorbener Bäume einen Hinweis auf evtl. ungewöhnliche Absterbeprozesse.

Von den 73.982 Inventurbäumen wurden 375 abgestorben vorgefunden; davon waren 27 Bäume bereits 1997 tot. Entsprechend einer bundeseinheitlichen Regelung werden tote, aber noch stehende Bäume bei Folgerhebungen nicht ersetzt, sondern so lange als abgestorben (Schadstufe 4) aufgenom-

men, bis sie als „stehendes Totholz“ ihre Äste vollständig verloren haben.

229 aller toten Bäume sind Fichten, davon entfallen allerdings allein 96 Bäume auf den Nationalpark Bayerischer Wald und sind dort durch Borkenkäferbefall abgestorben. Mit 19 Bäumen liegt die Zahl abgestorbener Eichen prozentual etwas höher als bei den anderen Baumarten. Die insgesamt sehr niedrigen Zahlen zeigen, dass der Wald keinesfalls von einem Waldsterben bedroht ist. Dieses Ergebnis wird von den Erhebungen auf den Dauerbeobachtungsflächen bestätigt.

Tabelle 2: Ersetzte Bäume bei der Inventur 2001 (im Zeitraum 1998 bis 2001)

Baumart	planmäßig genutzt	biotische Einflüsse z.B. Insekten	abiotische Einflüsse z.B. Sturm	unbekannte Ursache	angeschobener o. hängender Stichprobenbaum	Kronenbruch > 50%	Umsetzen in Kraftklasse 4 oder 5	sonstiger Grund	bereits mehrere Jahre toter Baum			Summe Baumart
									biot./unb./abiot.			
Fichte	1019	265	465	287	6	28	104	6	1	2	7	2190
Kiefer	398	15	78	98	3	7	34	0	1	1	5	640
Tanne	43	3	13	17	0	2	1	0	2	1	2	84
Buche	331	23	125	87	2	9	27	1	2	1	3	611
Eiche	100	44	20	21	2	0	4	0	0	1	6	198
Sonst. Laubh.	180	108	113	75	1	1	21	2	0	0	1	502
Sonst. Nadelh.	62	9	20	10	2	0	1	0	1	1	0	106
Summe	2133	467	834	595	16	47	192	9	7	7	24	4331

Tabelle 3: Mittleres Bestandesalter in den Inventurjahren

Inventurjahr	Zahl berücksichtigter Bestände	Mittelwert Bestandesalter (Jahre)	Standardabweichung	Minimum	Maximum
1984	1.670	75,0	35,8	4	250
1985	1.674	74,9	35,6	4	250
1986	1.668	74,9	35,7	4	250
1988	1.679	79,5	35,8	4	255
1991	1.682	79,1	35,8	4	255
1994	1.673	82,9	36,7	2	234
1997	1.670	83,5	36,9	2	234
2001	1.671	82,7	37,6	4	237

2.4 Witterung und Wasserhaushalt 2000/2001

Neben dem Standort bestimmt die Witterung maßgeblich das Wachstum der Bäume. Dabei hat nicht nur der Witterungsverlauf des aktuellen Jahres, sondern auch der vorhergehenden Vegetationsperiode Einfluss auf das Wachstum und die Belaubungsdichte eines Baumes. Laubbäume bilden bereits im Juli/August die Knospen, die sie im kommenden Frühjahr zum Neuaustrieb benötigen. Hierzu dienen auch Assimilate, die im Herbst als Reservestoffe gespeichert werden. Ein günstiges Vorjahr für die Knospen- und Reservestoffbildung stellt daher eine gute Ausgangsbasis für die Bildung einer größeren und dichteren Blattmasse im Frühjahr dar. Nadelbäume behalten ihre Nadeln über mehrere Jahre, die Kiefer bis zu 4, die Tanne sogar bis zu 15 Jahre. Je älter die Nadeln sind, desto weniger tragen sie zum Wachstum bei. Vor allem während längerer Trockenheit

trennt sich der Baum daher von seinen älteren, unproduktiven Nadeln.

Ein Rückblick zeigt die ungünstige Situation in der für die Knospenbildung der Laubbäume wichtigen letztjährigen Vegetationsperiode. Die Waldbestände waren infolge sehr milder Witterung im April überdurchschnittlich früh in die Vegetationszeit gestartet. Im April, Juni und August lagen die Niederschläge meist unter 70 % des langjährigen Mittels. Regional kam es zu gravierendem Wassermangel. Insbesondere in Unterfranken und in der Oberpfalz litten die Bäume unter Trockenstress. Heftige Regenfälle führten zwar im September und Oktober zu einem rechnerischen Ausgleich der Niederschlagsbilanz. Überdurchschnittlich warmes Wetter charakterisierte aber den Rest des Jahres; im Süden erreichten die Lufttemperaturen im Dezember bei Föhn noch einmal die 20°C - Marke. Da-

durch verzögerte sich auch der Eintritt der winterlichen Vegetationsruhe.

Der Winter 2000/2001 war geprägt von häufigen Wechsellagen zwischen Frostperioden bis zu -15°C und Tauwetter bzw. Föhn mit bis zu +15°C bei insgesamt nur geringer Schneedecke, die in tieferen Lagen rasch abtaute. Vor allem für Nadelbäume stellte dieser Wechsel eine Belastung dar.

Eine ungewöhnliche milde Witterung beendete bereits Mitte Februar 2001 vielfach vorzeitig die Winterruhe. Im Mai bremsen allerdings tiefe Temperaturen und Schneefall in der Monatsmitte die laufende Entwicklung wieder. Bis zum 19. Mai wurden an den Waldklimastationen auch Bodenfröste gemessen. Wie die Farbbildung A zeigt, war der Mai im ganzen Land deutlich zu trocken. Heftige Regenfälle im Juni füllten zwar in vielen Regionen die Bodenspeicher wieder auf, vor allem im Wes-

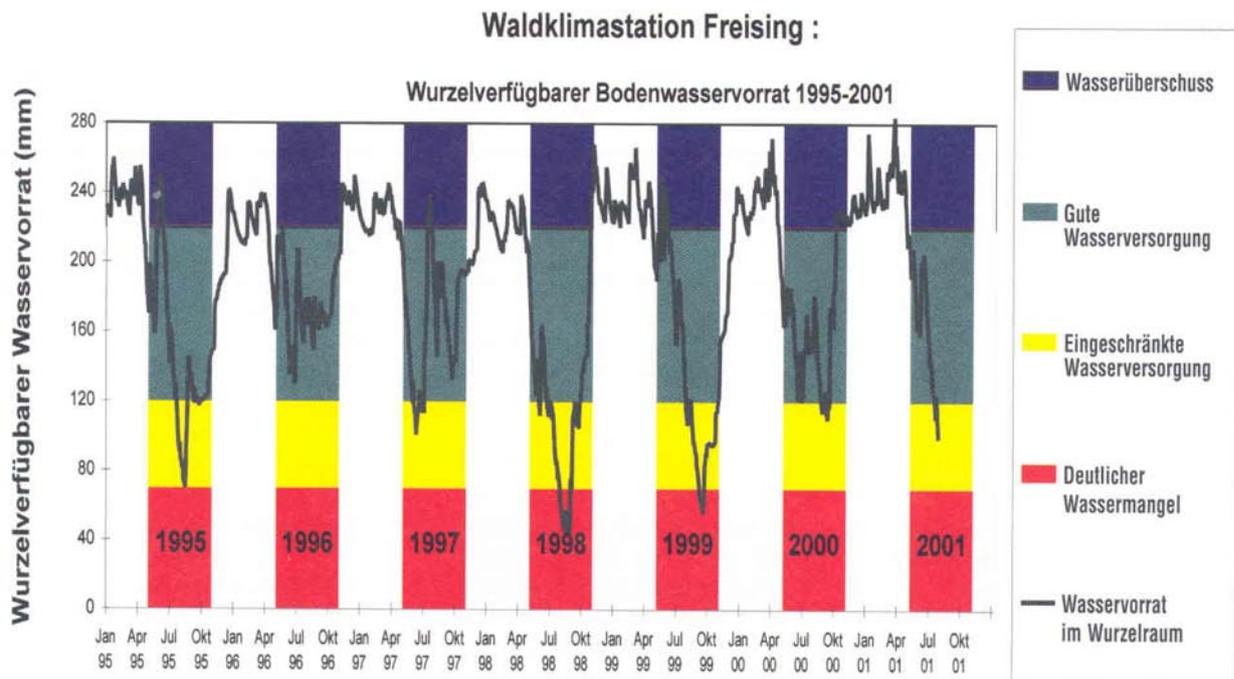


Abbildung 2: Wurzelverfügbare Bodenwasservorrat an der Waldklimastation Freising

ten Bayerns blieben aber „Trockeninseln“ mit Niederschlagsdefizit. Der Juli war wieder überwiegend zu trocken, wengleich in Oberbayern im Juli und Anfang August mehrere starke Gewitter mit Sturm und Hagelschlag regional beträchtliche Schäden in den Wäldern verursachten.

Die Auswertungen der Wasserhaushaltsuntersuchungen an den Bayerischen Waldklimastationen spiegeln den geschilderten Witterungsverlauf des Jahres wider. Sie bestätigen, dass im bayerischen Flach- und Hügelland und in Franken

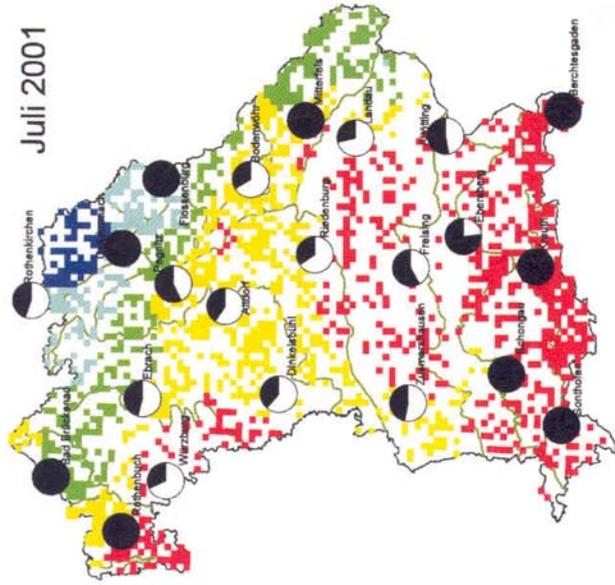
unterhalb von etwa 500 m Meereshöhe die Wasserversorgung der Bestände im Zeitraum Mai bis Juli 2001 deutlich eingeschränkt war.

Die für die Jahre 1995-2001 mit einem Wasserhaushaltsmodell berechnete Zeitreihe der Wasserverfügbarkeit an der Waldklimastation Freising zeigt, dass im Gegensatz dazu dort der Wasservorrat erst im Laufe des Monats Juli deutlich abgebaut wurde (Abbildung 2). Wegen der hohen Wasserspeicherkapazität des Standorts war der tief wurzelnde Buchen-Eichenbestand an dieser Wald-

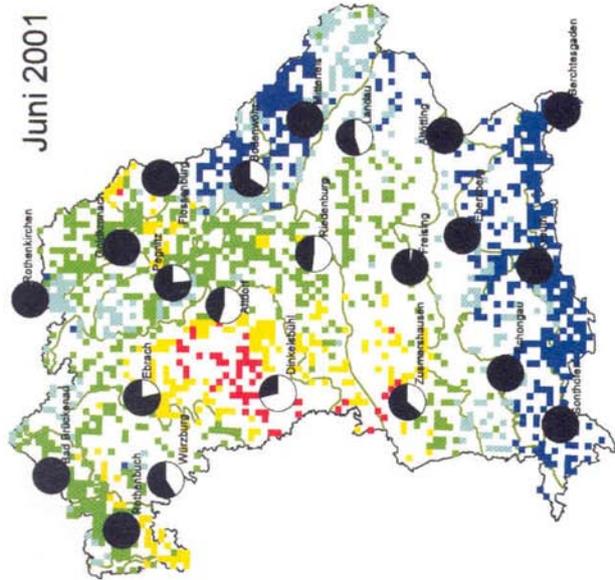
klimastation bis zum Zeitraum der Waldzustandserhebung Anfang August nur mäßig beeinträchtigt.

Neben den Stürmen wurde der Wald in den beiden vergangenen Jahren durch außergewöhnlich lange Trockenphasen und zu hohen Temperaturen stark belastet. Andererseits fielen nicht selten ungewöhnlich hohe Niederschlagsmengen in sehr kurzer Zeit. Vor allem bei Nadelbäumen hatte der ungewöhnliche Witterungsverlauf deutlichen Einfluss auf den Kronenzustand.

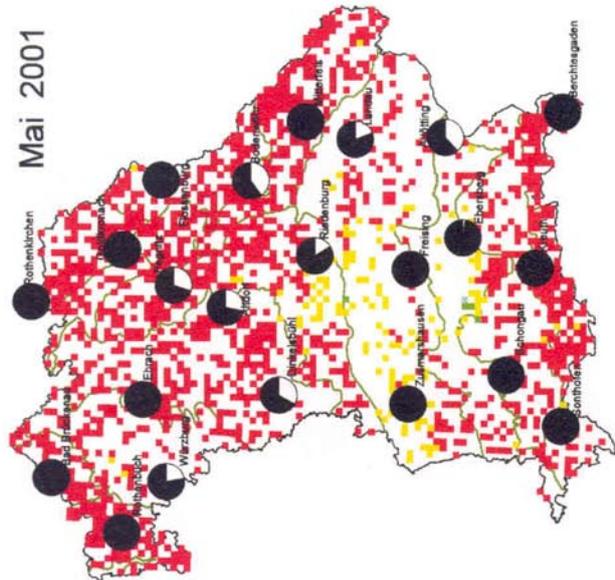
Juli 2001



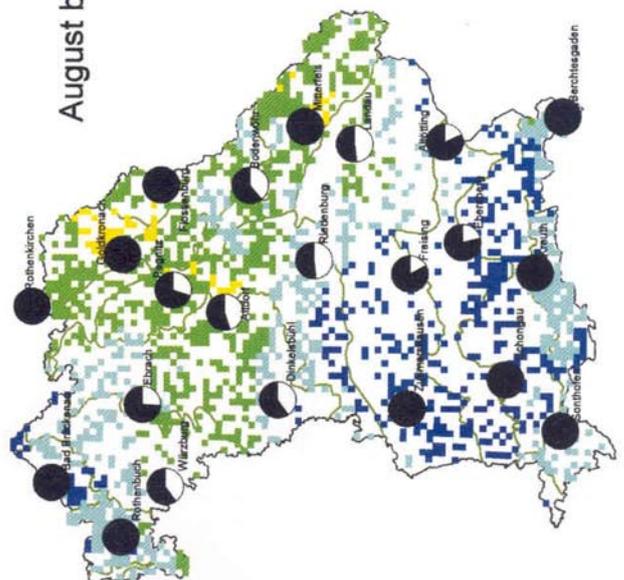
Juni 2001



Mai 2001



August bis Oktober 2000



Niederschlag in Prozent
des langjährigen Mittels

Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

- bis 70%
- 70 - 90%
- 90 - 110%
- 110 - 130%
- über 130%

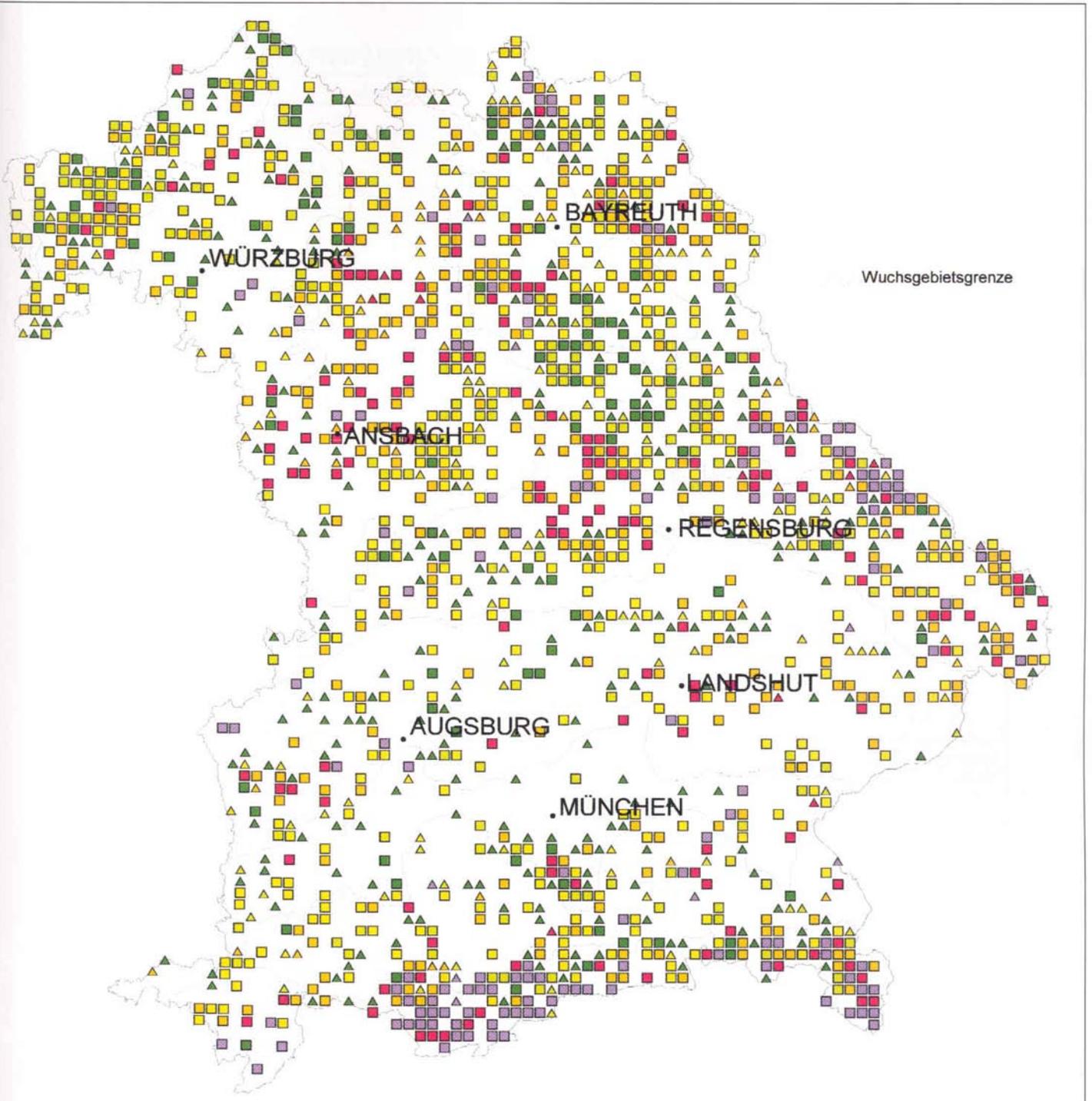
Berechnete Wasserverfügbarkeit
für die Waldklimastationen

Niederschlagsmessungen
an den Waldklimastationen



Verfügbarkeit in Prozent des
vollen Wasserbedarfs der Pflanzen

— Wuchsgebietsgrenze



Alle Baumarten 2001

Mittleres Nadel- / Blattverlustprozent

Jungbestand (bis 60 Jahre)	Altbestand (über 60 Jahre)
▲ < 15%	■
▲ 15% bis < 20%	■
▲ 20% bis < 25%	■
▲ 25% bis < 30%	■
▲ 30% bis < 35%	■
▲ ≥ 35%	■

Waldzustandserhebung in Bayern 2001

Tabelle 4: Ergebnisse der Kronenzustandserhebung 2001 in Bayern im Vergleich zu den Ergebnissen 1997 bis 2000

			Schadstufe					2 bis 4
			0	1	2	3	4	
Baumart	Jahr	Mittleres Nadel-/Blattverlustprozent	ohne Schadmerkmale	schwach geschädigt (Warnstufe)	mittelstark geschädigt	stark geschädigt	abgestorben	Summe deutliche Schäden
Bayern alle Baumarten	2001	19,7	34	41	23	1	0,4	25
	2000	19,8	30	48	20	2	0,3	22
	1999	17,8	39	42	18	1	0,4	19
	1998	17,6	40	41	18	1	0,3	19
	1997	17,4	42	39	18	1	0,3	19
Fichte 48 %	2001	19,4	38	37	24	1	0,5	26
	2000	19,0	35	41	22	2	0,4	24
	1999	16,7	45	35	19	1	0,4	21
	1998	17,8	42	35	22	1	0,3	24
	1997	16,5	45	36	17	1	0,3	19
Kiefer 23 %	2001	21,6	22	53	24	1	0,5	25
	2000	21,0	13	70	16	0,4	0,4	17
	1999	18,2	30	56	13	0,4	0,4	14
	1998	16,6	35	55	9	0	0,4	10
	1997	16,7	39	48	11	1	0,5	13
Tanne 2 %	2001	29,7	24	25	43	8	0,4	51
	2000	28,9	32	25	33	10	0,3	43
	1999	27,5	34	25	31	9	0,3	41
	1998	28,5	29	26	38	7	0,6	45
	1997	26,1	27	31	36	6	0,5	42
Summe Nadelholz	2001	20,2	33	42	24	1	0,5	26
	2000	19,8	28	50	20	2	0,4	22
	1999	17,3	40	41	18	1	0,4	19
	1998	17,6	39	41	18	1	0,4	20
	1997	16,7	43	40	16	1	0,4	17
Buche 10 %	2001	21,7	27	43	29	1	0,1	30
	2000	21,6	31	41	25	3	0,1	28
	1999	21,9	25	50	23	2	0,1	25
	1998	19,3	33	47	18	2	0,2	20
	1997	21,1	27	45	26	1	0,1	28
Eiche 6 %	2001	19,6	34	42	23	1	0,5	24
	2000	21,6	22	52	25	1	0,1	26
	1999	21,0	27	46	26	1	0,4	27
	1998	21,7	25	46	27	2	0,1	29
	1997	28,2	16	36	44	4	0,4	48
Summe Laubholz	2001	18,4	40	38	22	1	0,2	23
	2000	19,7	34	43	21	2	0,2	23
	1999	19,3	33	46	19	2	0,2	21
	1998	17,5	41	41	16	1	0,1	18
	1997	19,7	36	38	24	2	0,2	26

(Abweichungen in der Summenbildung sind rundungsbedingt; Prozentzahlen bei den Baumartennamen geben den Anteil der Baumart an der Waldfläche Bayerns an.)

2.5 Ergebnisse der terrestrischen Kronenzustandserhebung

Das mittlere Nadel-/ Blattverlustprozent liegt über alle Baumarten (Farbbildung B) in diesem Jahr mit 19,7 % auf vergleichbarem Niveau wie im Vorjahr mit 19,8 % (Abbildung 3 und 4). Verändert hat sich die Verteilung der Verlustprozente. Die Anteile der Bäume ohne Schäden (unter 10 %), aber auch mit höheren Kronenverlichtungen (über 30 %) haben zugenommen. Auch die Schadstufenverteilung (Abbildung 3) zeigt diese zweigleisige Entwicklung. Im längerfristigen Vergleich ist seit dem relativen Tiefstand im Jahr 1996 ein Trend zur kontinuierlichen leichten Verschlechterung des Kronenzustandes zu beobachten. Bei der letzten Vollerhebung 1997 lag das mittlere Nadel-/ Blattverlustprozent mit 17,4 % um 2,3 Prozentpunkte noch erheblich niedriger als in diesem Jahr (Gesamtübersicht Tabelle 4). Im Jahr 2000 wurde die Erhebung im 16 km x 16 km Raster durchgeführt.

Einfluss hatten neben den ungleichmäßig über das Land verteilten Niederschlägen auch lokale Sturm- und Hagelereignisse. Die Hagelbahn im Al-

pennvorland vom 3. August hatte nur mehr begrenzte Bedeutung für das Inventurergebnis, da die Außenaufnahmen dort bereits abgeschlossen waren. Kontrollaufnahmen in den betroffenen Beständen waren allerdings nicht mehr möglich, da die Bäume teilweise nahezu kahl, bzw. vom Sturm geworfen waren. Während die jährliche Veränderung sicherlich durch Witte-

rungsfaktoren wie Trockenphasen beeinflusst wurde, kann die anhaltende Verschlechterung der letzten Jahre nicht allein dadurch begründet werden. Die regionale Entwicklung in den Wuchsgebieten und die baumartenspezifischen unterschiedlichen Reaktionen wie zum Beispiel bei der Tanne begründen den Einfluss weiterer zusätzlicher Faktoren.

Verteilung der Nadel-/Blattverluste in den Jahren 1997, 2000 und 2001

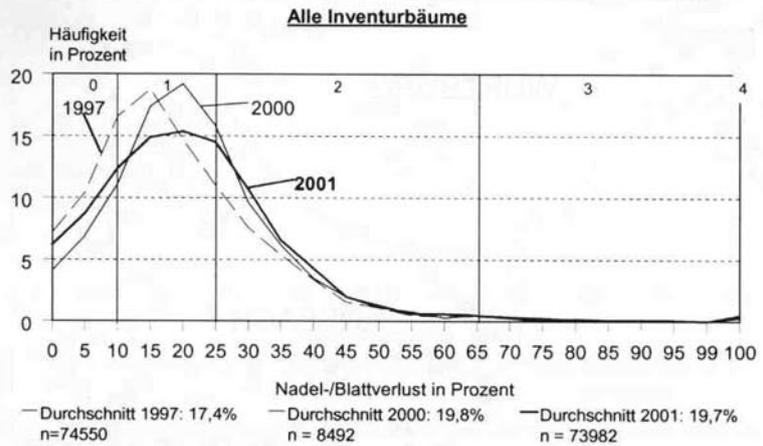


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste im Jahr 2001 im Vergleich zu den Jahren 1997 und 2000

Alle Baumarten

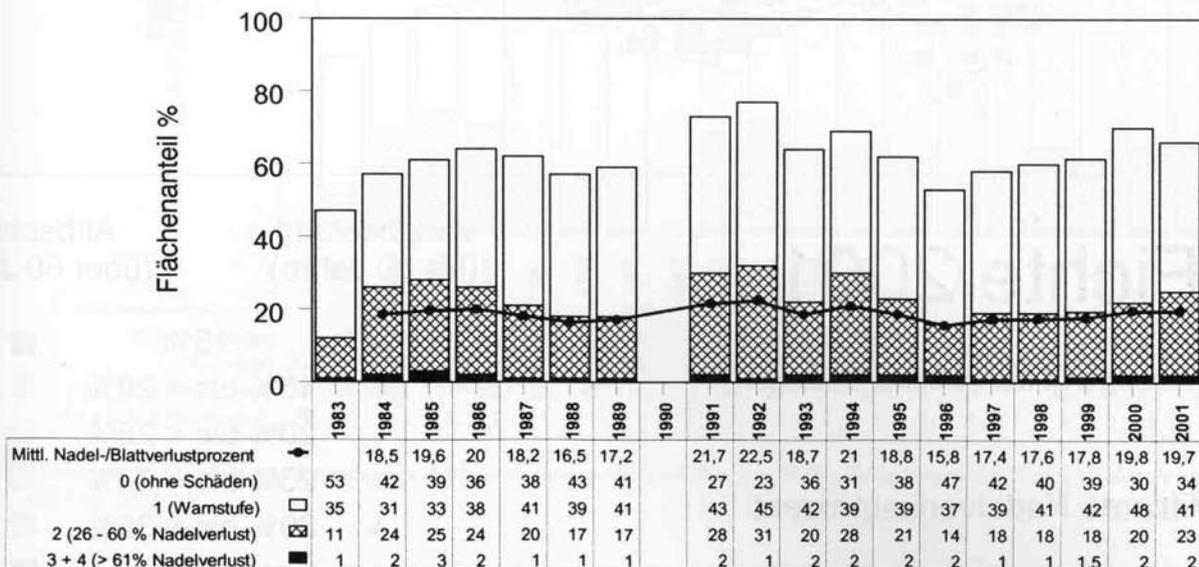
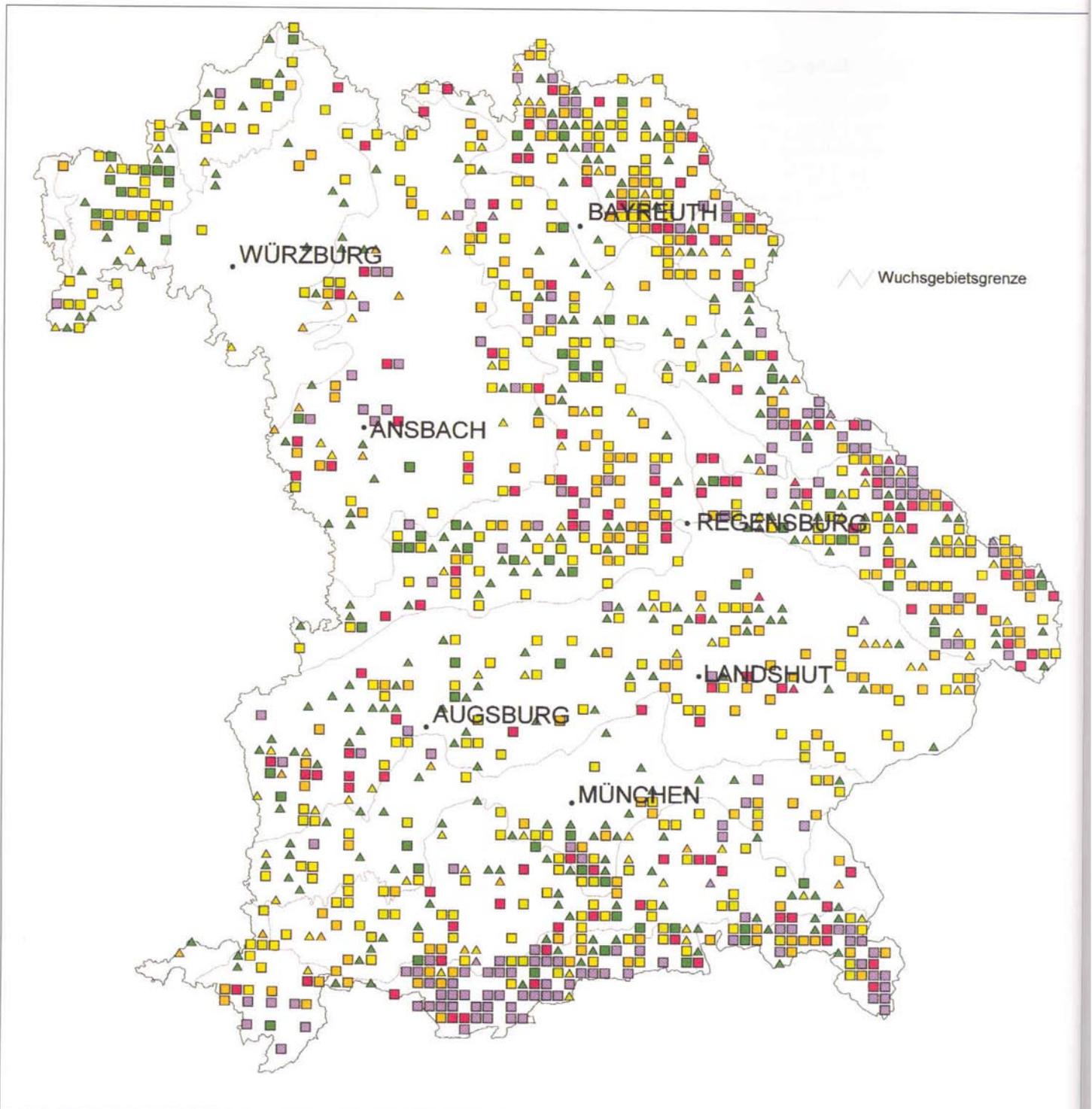


Abbildung 4: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes und der Anteile der Schadstufen bei allen Baumarten in Bayern



Fichte 2001

Inventurpunkt mit mehr als 4 Fichten

Mittleres Nadelverlustprozent

Jungbestand
(bis 60 Jahre)

Altbestand
(über 60 Jahre)



2.5.1 Inventurergebnis für die Fichte

Verschlechtert hat sich der Kronenzustand der Fichte (Farbbildung C). Das mittlere Nadelverlustprozent liegt im Vergleich zum Ergebnis des Jahres 2000 um 0,4 Prozentpunkte höher bei jetzt 19,4 % (Abbildung 5). Der Anteil der deutlichen Schäden stieg im selben Zeitraum um zwei Prozentpunkte auf 26 % an. Bei der letzten Vollerhebung im Jahr 1997 konnte mit einem mittleren Verlustprozent von 16,5 % eine noch deutlich günstigere Situation als in diesem Jahr festgestellt werden. Damals waren wesentlich mehr Bäume als ungeschädigt, etwa gleich viele in Schadstufe 1, aber nur 19 % mit deutlichen Schäden eingewertet worden. Bemerkenswert gegenüber 1997 ist auch, dass die mittelstark geschädigten Bäume über die gesamte Bandbreite dieser Schadstufe (26 – 60 % Nadelverlust), nicht nur im unteren Bereich zugenommen haben.

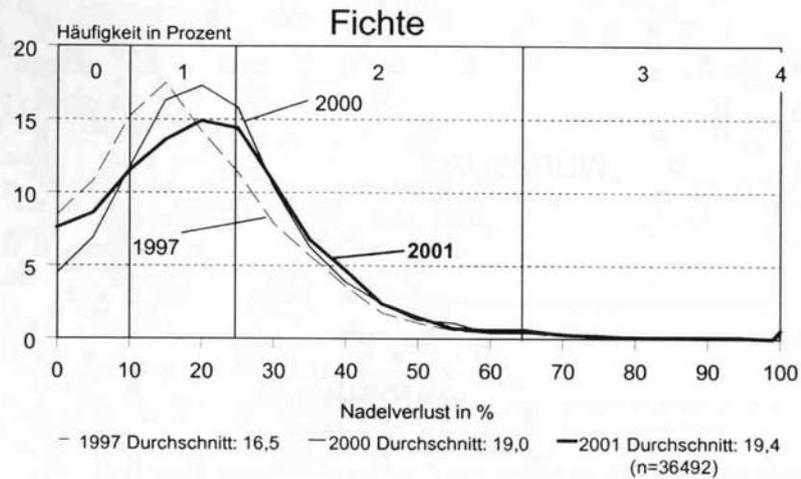


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei Fichte im Jahr 2001 im Vergleich zu den Jahren 1997 und 2000

Vergilbung und Fruktifikation

Über 30 % aller Fichten wiesen Zapfenbehang auf, acht Prozent davon fruktifizierten sogar mittelstark bis stark. Vergil-

bungen waren erneut im Fichtelgebirge, im Bayerischen Wald, aber auch vereinzelt in den Bayerischen Alpen zu beobachten.

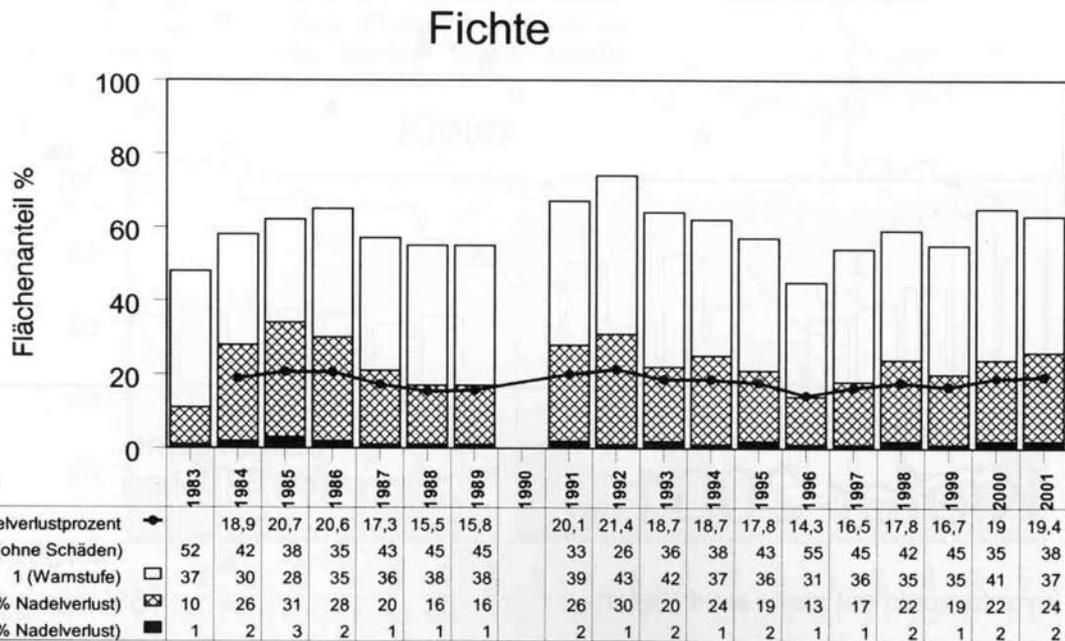
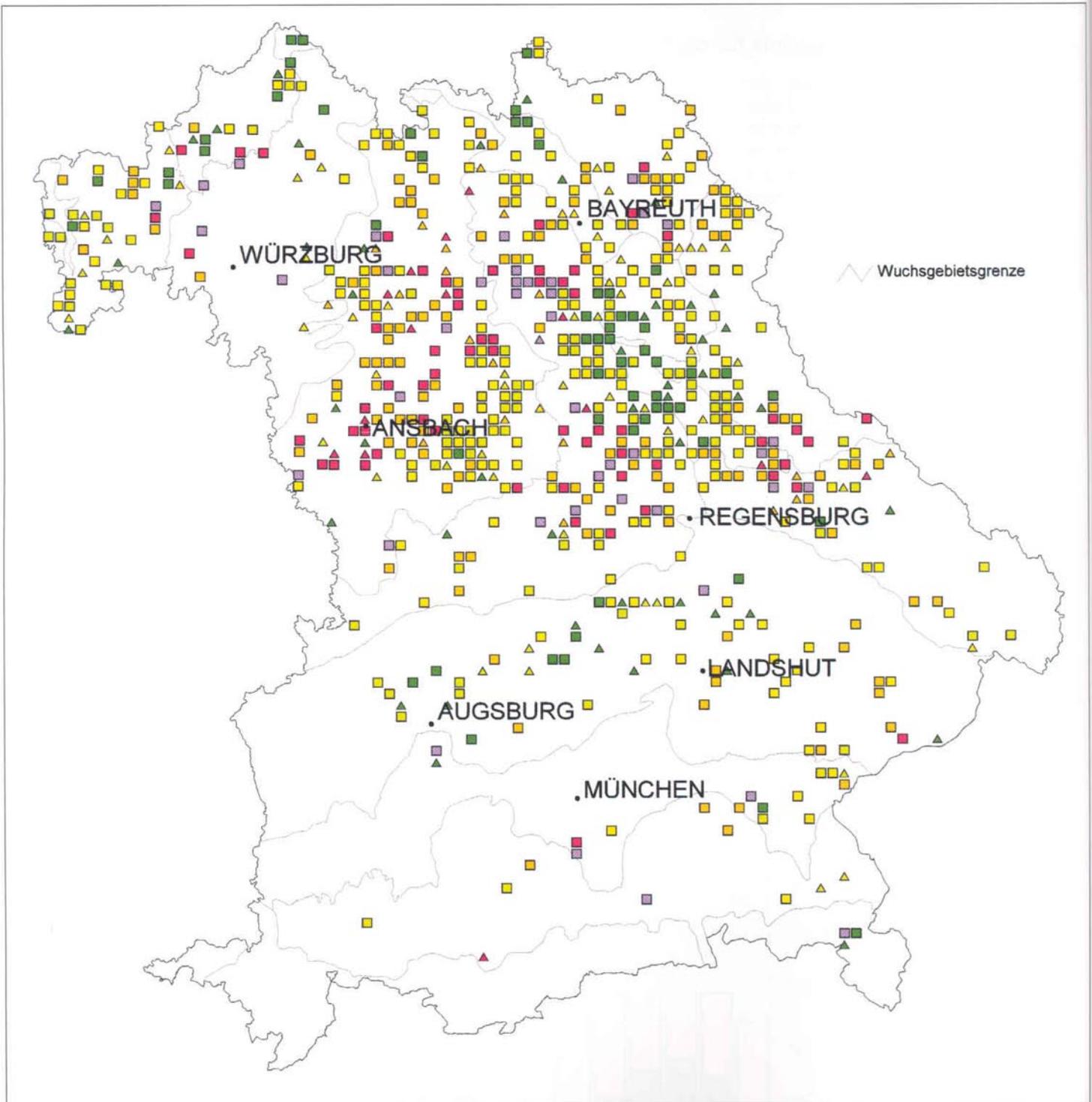


Abbildung 6: Entwicklung des mittleren Nadelverlustprozent und der Anteile der Schadstufen bei Fichte in den Jahren 1983 bis 2001



Kiefer 2001

Inventurpunkt mit mehr als 4 Kiefern

Mittleres Nadelverlustprozent

Jungbestand
(bis 60 Jahre)

Altbestand
(über 60 Jahre)

- | | | |
|---|---------------|---|
| ▲ | < 15% | ■ |
| ▲ | 15% bis < 20% | ■ |
| ▲ | 20% bis < 25% | ■ |
| ▲ | 25% bis < 30% | ■ |
| ▲ | 30% bis < 35% | ■ |
| ▲ | >= 35% | ■ |

2.5.2 Inventurergebnis für die Kiefer

Die Kiefer (Farbabbildung D) reagiert aufgrund ihrer geringeren Anzahl an Nadeljährgängen auf Umwelteinflüsse besonders deutlich durch „Schütten“ älterer Nadeln. Die sprunghafte Erhöhung der deutlichen Schäden um 8 Prozentpunkte innerhalb eines Jahres ist dennoch ungewöhnlich hoch. Das mittlere Verlustprozent liegt in diesem Jahr bei 21,6% und damit um 0,6 Prozentpunkte höher als im Jahr 2000 (Abbildung 7). Im Vergleich zu 1997 beträgt die Zunahme sogar knapp 5 Prozentpunkte.

Noch deutlicher gibt der Prozentanteil der Kiefer ohne Schadmerkmale (Schadstufe 0) die veränderte Situation wieder (Abbildung 8). Wie bei der Fichte ist im Jahresvergleich eine auffällige Umschichtung von der Schadstufe 1 in die schadensfreie Stufe 0 und entgegengesetzt in die Stufe 2 festzustellen. Wurden 1997 noch knapp 40% aller Kiefern als ungeschädigt eingewertet, sind es im diesem Jahr nur mehr 22% - eine Verringerung um 17 Prozentpunkte. Über ein Viertel der Kiefern in allen Alterstufen weisen momentan

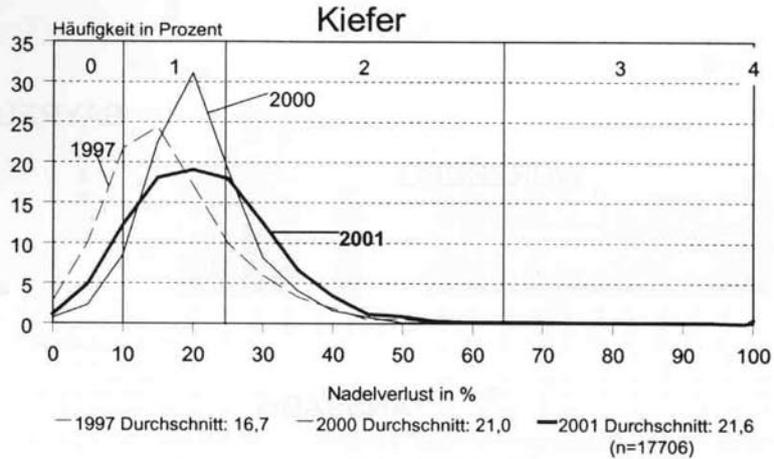


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei Kiefer im Jahr 2001 im Vergleich zu den Jahren 1997 und 2000

eine Kronenverlichtung von über 30% auf.

Fruktifikation

Bereits im Vorjahr stellten die Inventurtrupps an rund 30 Prozent der Kiefern Zapfenbehang fest. In diesem Jahr fruktifizierten knapp 60 Prozent der Bäume, 11 Prozent davon mittelstark. Die Bildung von Zapfen geht einher mit der Ausbildung von männlichen Blüten. Diese werden im Frühjahr an den frischen Trieben anstelle

der Nadeln überwiegend außerhalb des Boniturbereiches in der Unterkrone gebildet. Die dadurch fehlende Nadelmasse wird nicht als Nadelverlust gewertet. Tritt dieser Blüheffekt über mehrere Jahre intensiv auf, trägt er zu einer Verlichtung der Krone bei, die auch bei sorgfältiger Ansprache zu Interpretationsschwierigkeiten führen kann.

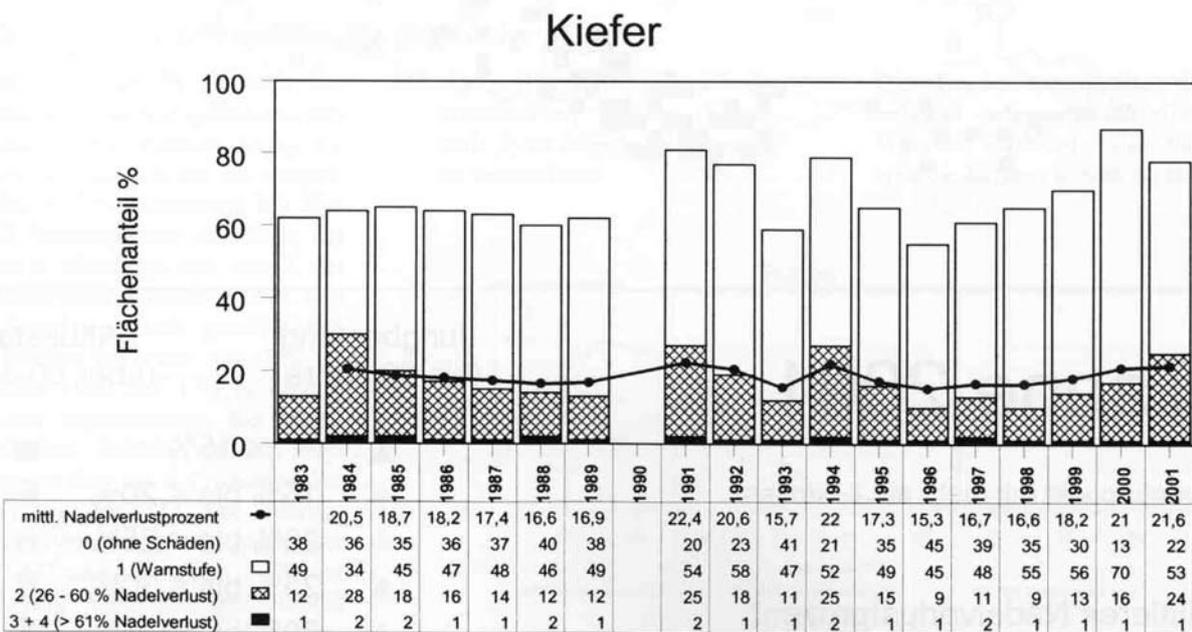
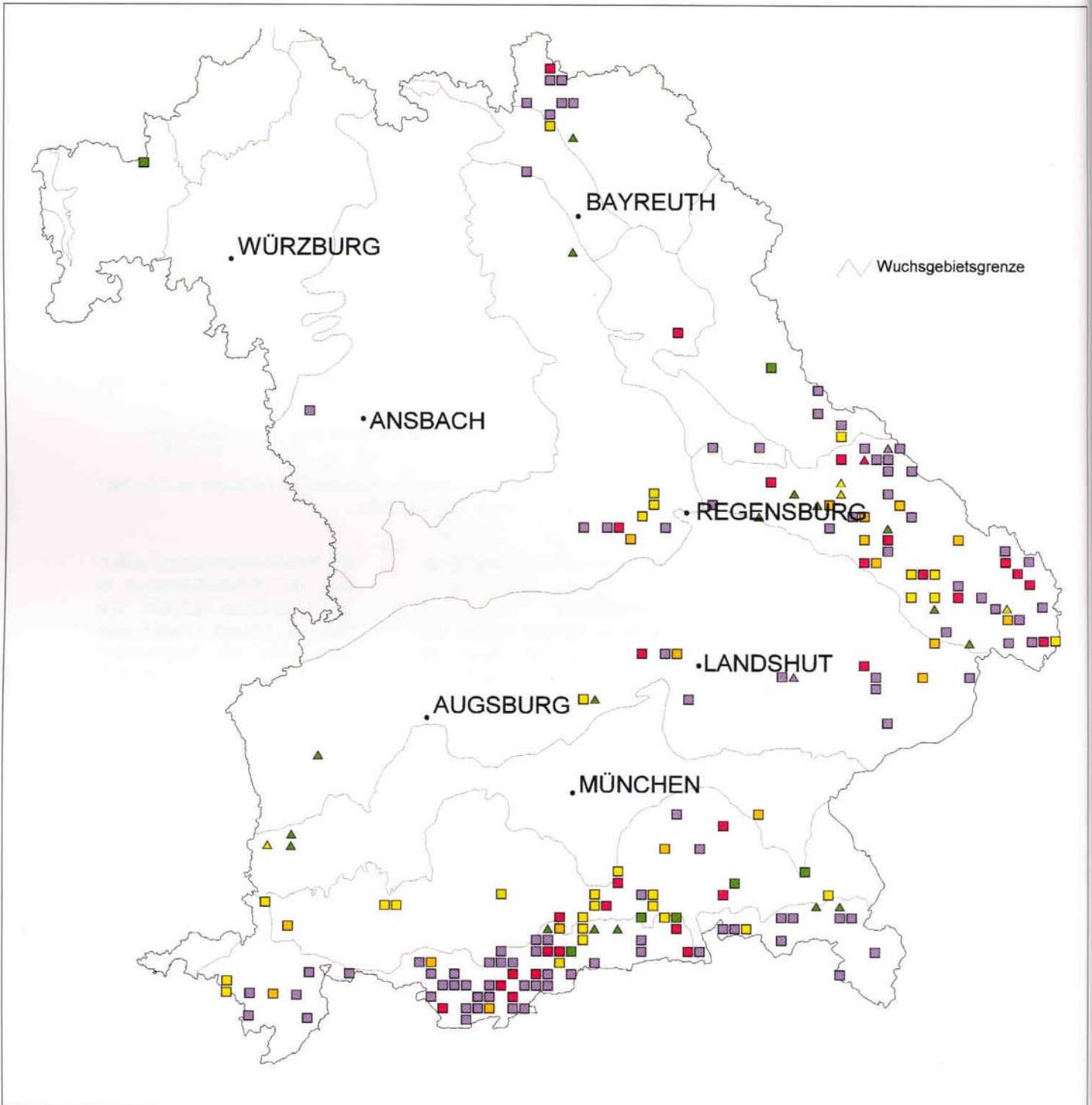


Abbildung 8: Entwicklung des mittleren Nadelverlustprozent und der Anteile der Schadstufen bei Kiefer in den Jahren 1983 bis 2001



Tanne 2001

Inventurpunkt mit mehr als 2 Tannen

Mittleres Nadelverlustprozent

Jungbestand
(bis 60 Jahre)

Altbestand
(über 60 Jahre)



2.5.3 Inventurergebnis für die Tanne

Nach Jahren der Stagnation weisen alle Werte bei der Tanne (Farbabbildung E) auf eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes hin. Das mittlere Nadelverlustprozent nahm im Vergleich zum Vorjahr um 0,8 Prozentpunkte auf 29,7 % zu. Der Anteil der deutlichen Schäden stieg um 8 auf 51 % (Abbildung 9). Seit 1997 haben die Nadelverluste kontinuierlich um 3,6 Prozentpunkte zugenommen. Diese Verschlechterung geht besonders zu Lasten der älteren Tannen (älter als 60 Jahre), während jüngere Tannen in den vergangenen 4 Jahren überwiegend wenig veränderte Werte aufweisen.

Die Inventurtrupps berichten sowohl aus dem „Bayerischen Wald“ als auch aus den „Bayerischen Alpen“ von schlecht aussehenden Tannen, deren Nadeln einen „matten“ Eindruck machen. Auch bei den abschließenden Kontrollen der LWF Ende August „schütteten“ Alt-tannen bereits deutlich sichtbar ältere Nadeln. Die in den vergangenen Jahren meist dicht benadelten „Storchennester“ (oberster Kronenteil der Tanne) bzw. die frischen „Gie-

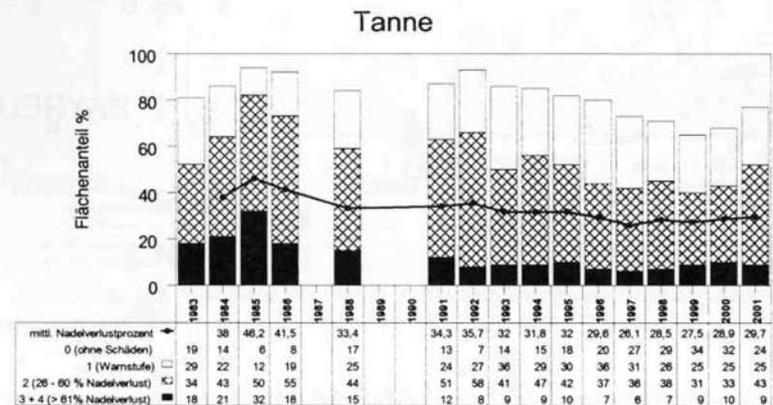


Abbildung 9: Entwicklung des mittleren Nadelverlustprozentes und der Anteile der Schadstufen bei Tanne in den Jahren 1983 bis 2001

bel“, die vitale Tannen in den letzten Jahren gebildet hatten, beginnen zu verlichten. Auch weitgehend frei stehende, gut belichtete Bäume zeigen in diesem Jahr ein erschreckend schütteres Nadelkleid.

Fruktifikation

Die Verjüngungsfreude der Tanne ist weiterhin sehr hoch. Ein Drittel der Tannen zeigen geringen, knapp 7 Prozent deutlichen Zapfenbehang. Damit ist die Fruktifikation stärker als in den Vorjahren.

Vor allem im Bergmischwald kommt der Tanne als bodenstabilisierende Baumart außerordentlich große Bedeutung zu. Sie zählt in weiten Bereichen zur natürlichen Baumvegetation, ihr Verlust wäre unersetzlich. Kronenzustand und Vitalitätsentwicklung der Tanne sollen daher in den kommenden Jahren sorgfältig beobachtet werden, damit erforderlichenfalls notwendige Maßnahmen zum Erhalt dieser Baumart verstärkt werden können.

2.5.4 Inventurergebnis für die Buche

Kaum verändert hat sich das mittlere Blattverlustprozent bei der Buche (Farbabbildung F), es liegt ähnlich wie im Vorjahr bei 21,7 % (Abbildung 10). Um 2 Prozentpunkte auf 30 % hat sich allerdings der Anteil der deutlichen Schäden erhöht. Der Anteil an stark geschädigten Buchen hat zwar von 3 % im Jahr 2000 auf 1 % in diesem Jahr abgenommen, die mittelstarken Schäden stiegen dem gegenüber um 4 Prozentpunkte (Abbildung 11). Die Häufigkeitsverteilung zeigt gegenüber 1997 und vor allem 2000 nur wenig Veränderungen. Leicht abgenommen haben die ungeschädigten, die gering geschädigten und die stark geschä-

digten Bäume. Im Bereich der mittelstarken Schäden (Schadstufe 2) ist dagegen ein Anstieg zu verzeichnen.

Die Buche entwickelte sich regional sehr unterschiedlich. Während im Nordwesten Bayerns die Kronen wieder dichter

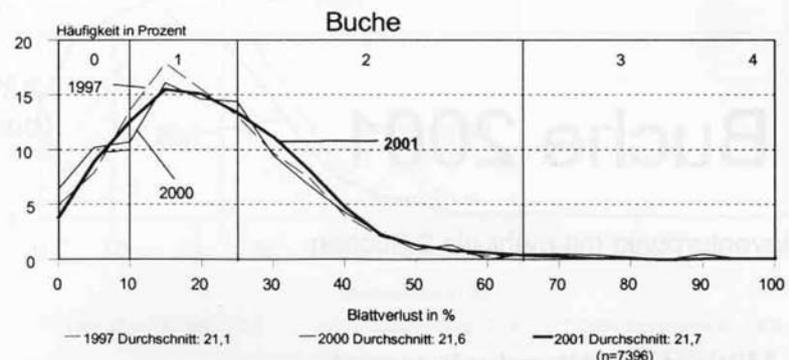
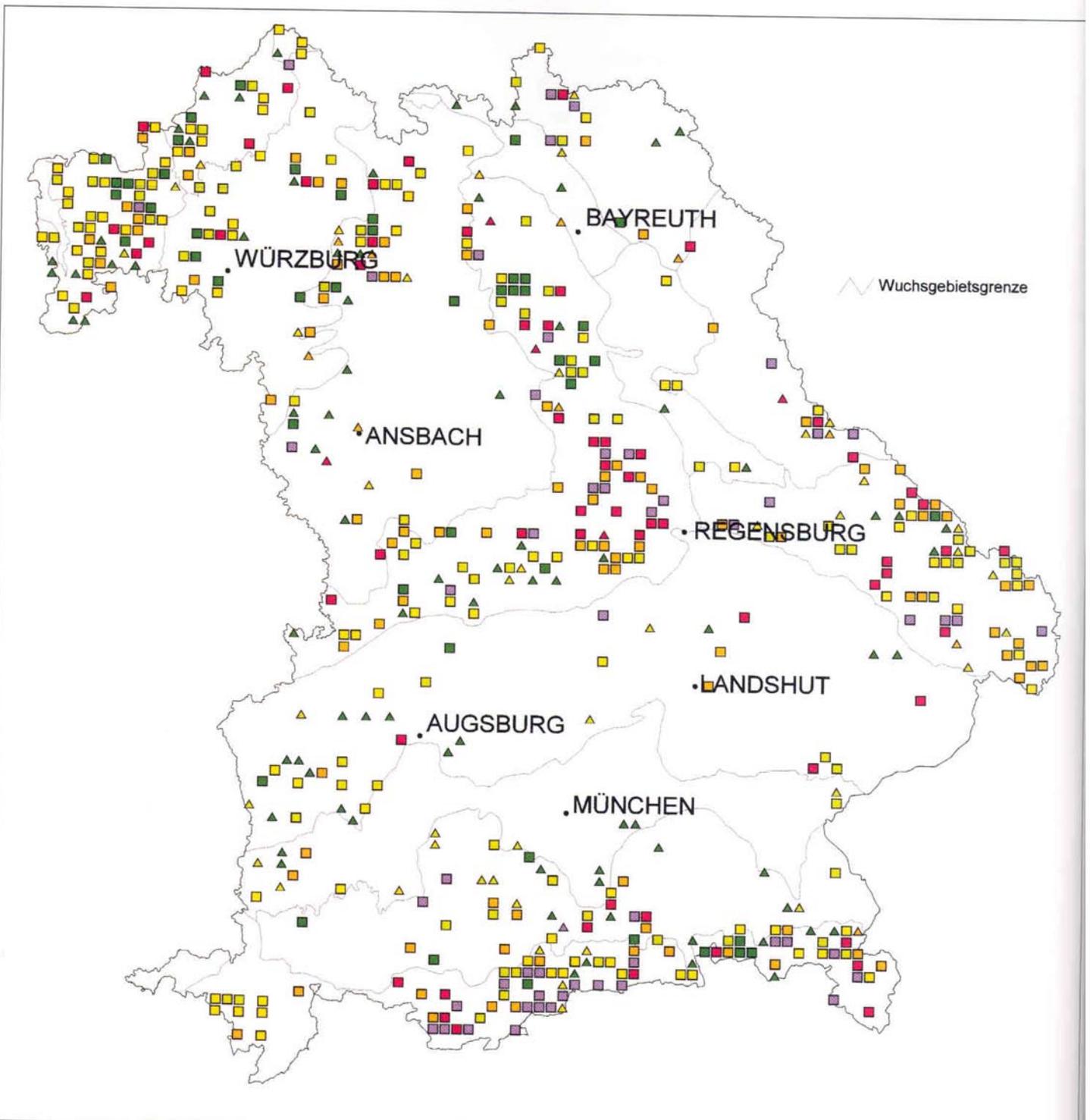


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung der Blattverluste bei Buche im Jahr 2001 im Vergleich zu den Jahren 1997 und 2001



Buche 2001

Inventurpunkt mit mehr als 2 Buchen

Mittleres Blattverlustprozent

Jungbestand
(bis 60 Jahre)

Altbestand
(über 60 Jahre)

▲	< 15%	■
▲	15% bis < 20%	■
▲	20% bis < 25%	■
▲	25% bis < 30%	■
▲	30% bis < 35%	■
▲	>= 35%	■

belaubt sind, finden sich in den „Bayerischen Alpen“ und im „Bayerischen Wald“ aber auch in Teilen der „Frankenalb und des Oberpfälzer Juras“ deutlich verlichtete Buchen (Farbbildung F).

Im Rahmen der Aufnahme von biotischen Schäden wurde in diesem Jahr besonders auf Einbohrlöcher holzerstörender Insekten geachtet. Vor allem aus Belgien kommen Berichte, dass gesunde Buchen plötzlich in größerem Umfang von holzerstörenden Insekten wie zum Beispiel *Xyloterus domesticus* befallen sind. In Bayern konnte bei keiner Inventurbuche ein primärer Befall mit diesem Schädling festgestellt werden. Der einzig festgestellte Fall wurde an einer bereits mehrere Jahre abgestorbenen Buche beobachtet und durch die Spezialisten der LWF bestätigt.

Kennzeichen für eine seit langem bekannten Komplexkrankheit bei Buche sind auch Schleimfluss und das Auftreten der Buchenwollschildlaus. Befall mit Buchenwollschildlaus wurde nur an 14 Bäumen beobachtet, Schleimfluss wurde bei der diesjährigen Inventur nicht festgestellt.

Vergilbung

Auch in diesem Jahr zeigten Buchen in allen Landesteilen

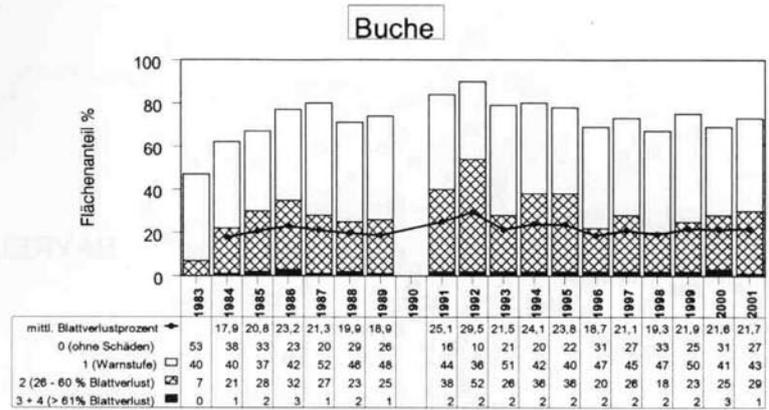


Abbildung 11: Entwicklung des mittleren Blattverlustprozentes und der Anteile der Schadstufen bei Buche in den Jahren 1983 bis 2001

vorzeitige Herbstverfärbung und Absterben von Zweigen vor allem in der Oberkrone. Nicht überall kann Trockenstress als möglicher Auslöser gelten, vor allem nicht im Alpenvorland und im Gebirge. Die mikroskopische Untersuchung von Blattproben ergab keinen Befall mit pilzlichen Schädlingen. Das Phänomen wird in den kommenden Jahren im Rahmen eines Projektes an der FH Weihenstephan näher untersucht. Stichprobenartig wurden die Buchenblätter okular auch auf Ozonschäden hin untersucht. Dabei konnten keine eindeutigen Schäden wie „Mottling“ (punktförmige Nekrosen) oder interkostale Vergilbungen

(flächige Vergilbungen zwischen den Blattadern) festgestellt werden. Diese Untersuchungen sollen im kommenden Jahr intensiviert werden. Dazu ist auch die ergänzende Messung von Ozonkonzentrationen im Wald, u.a. an den drei Bergwald-Waldklimastationen vorgesehen.

Fruktifikation

Behang mit Bucheckern konnten die Inventurtrupps bei über einem Drittel aller Buchen älter als 60 Jahre beobachten. 11 % der Buchen fruktifizierten mittelstark, 3 % waren sogar übertoll mit Früchten. Dies entspricht den üblichen Fruktifikationszyklen.

2.5.5 Inventurergebnis für die Eiche

Mit 19,6 % mittlerem Blattverlust weisen die Eichen (Farbbildung G) deutlich dichtere Kronen als in den Vorjahren auf. In Abbildung 12 ist die Verschiebung der Verteilungskurve der Blattverlustprozente in niedrigere Bereiche deutlich zu erkennen. Im Jahr 1994 hatte die Eiche noch ihr schlechtestes Ergebnis mit einem mittleren Blattverlustprozent von 35,2 %.

Mit 34 % wurden mehr als doppelt so viele Eichen wieder in Schadstufe 0 eingewertet als im Jahr 1997 (Abbildung 13). Hauptursache dafür ist der Rückgang biotischer Schäden,

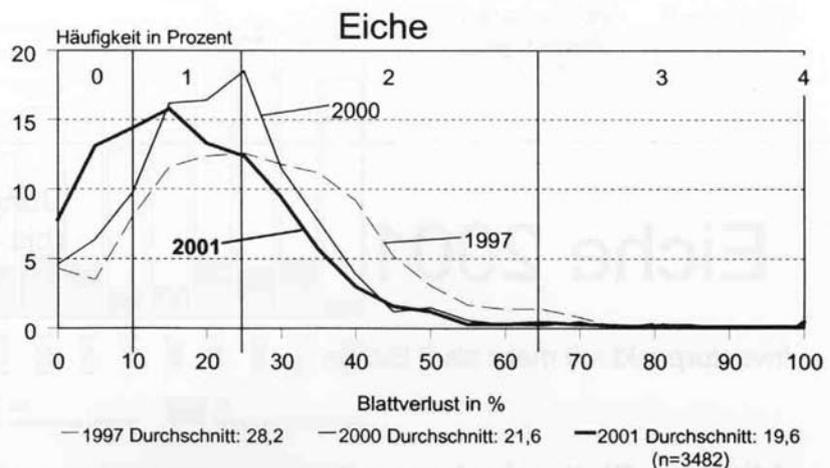
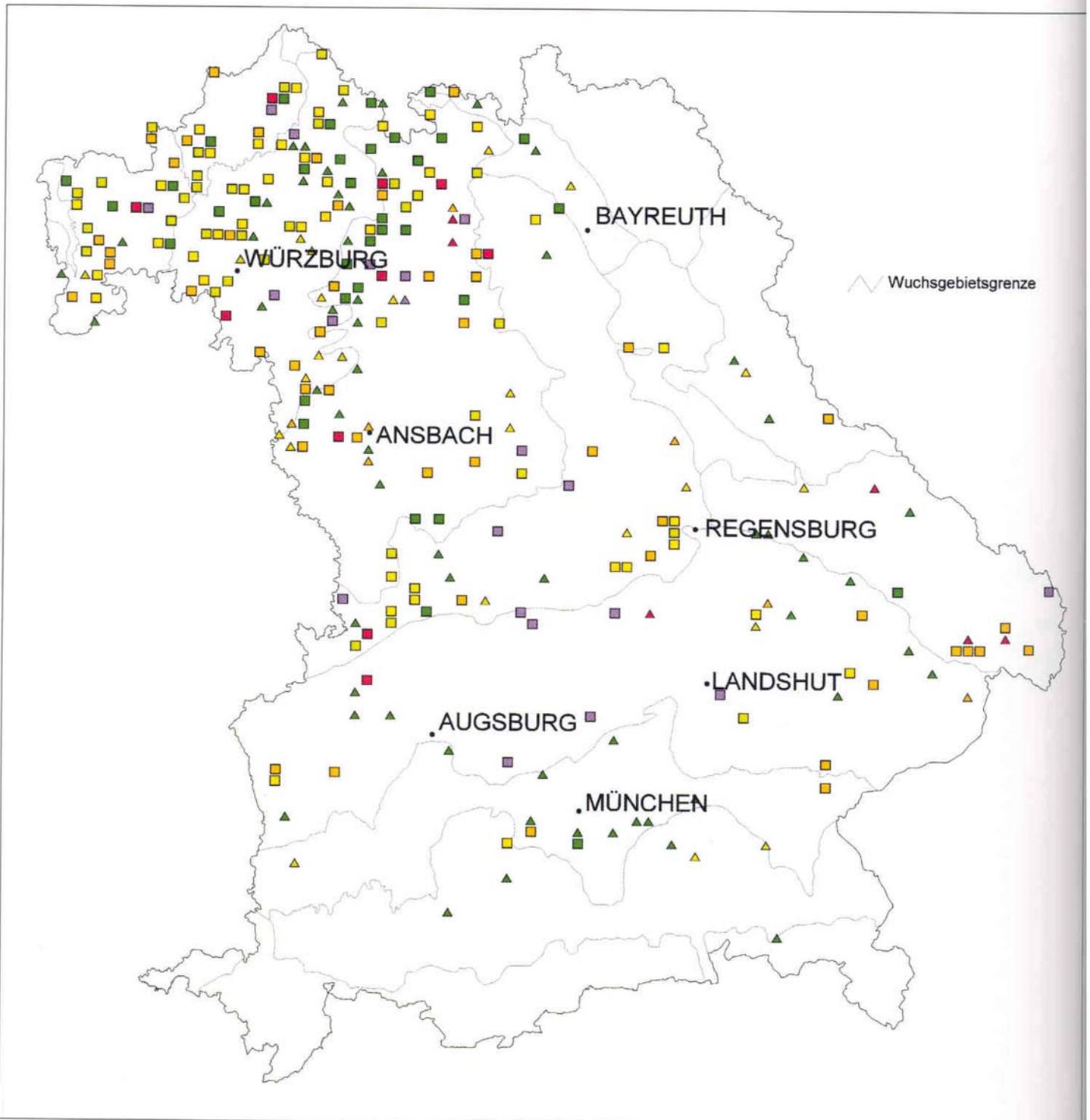


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Blattverluste bei Eiche im Jahr 2001 im Vergleich zu den Jahren 1997 und 2000



Eiche 2001

Inventurpunkt mit mehr als 2 Eichen

Mittleres Blattverlustprozent

Jungbestand
(bis 60 Jahre)

Altbestand
(über 60 Jahre)



verursacht durch die blattfressenden Insekten Frostspanner, Schwammspinner und Eichenwickler. 1994 war noch bei 40 % aller Eichen Fraß durch diese Schädlinge festzustellen, in diesem Jahr waren nur mehr knapp 10 % der Eichen meist in geringem Umfang beeinträchtigt.

Bemerkenswert ist allerdings, dass 19 Eichen in der Stichprobe tot aufgefunden wurden, das entspricht 0,5 %. Bereits in früheren Jahren hat sich gezeigt, das mehrfach stark geschädigte Eichen eher absterben (meist nach Befall durch Sekundärschädlinge) als andere Baumarten.

Fruktifikation

Die Früchte der Eiche sind zum Zeitpunkt der Inventur nur schwer zu erkennen, da die Eicheln noch sehr klein sind. Dennoch stellten die Inventurtrupps bei 10 % der Eichen älter als 60 Jahre Fruktifikation fest. Die Bildung der Früchte, bei einer Vollmast sind dies ca. 2 - 4 t pro Hektar, stellt eine zusätzliche Belastung für die Bäume dar.

Vor allem auf basischen Standorten, an Waldrändern, aber vereinzelt auch im Bestandesinneren sind noch immer rasch vergilbende Eichen („Goldeichen“) zu beobachten, die häufig bald darauf absterben.

Offensichtlich sind zwei unterschiedliche Entwicklungen für den Zustand der Eiche verantwortlich. Während Umwelteinflüsse und Schädlinge die Belaubungsdichte beeinträchtigen, dürfte ein anderer Prozess diese „Goldeichen“ verursachen. Neueste Forschungsergebnisse lassen den Einfluss von Phytophthora-Pilzen vermuten, die aufgrund veränderter Umweltbedingungen (zu warme Winter) primär pathogen werden und Eichen zum Absterben bringen können.

Selbst mit dem 4 km x 4 km Raster können diese vereinzelt auftretenden „Goldeichen“

nicht ausreichend genau erfasst werden. Für eine Aussage über den Umfang der Schädigung bietet sich aber die Holzstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung an. Außerplanmäßige Nutzungen, sogenannte zufällige Ergebnisse (ZE), werden dort nach den Ursachen für den Zwangseinschlag aufgeschlüsselt. Trotz der seit 1994 kontinuierlich verbesserten Ergebnisse bei der Waldzustandsinventur werden bis heute jährlich über 10 % (ca. 5.000 Festmeter) des Gesamteinschlages an Eiche im Bereich der FD Unterfranken, dem Hauptverbreitungsgebiet der Eiche den sogenannten „Neuartigen Waldschäden“ zugeordnet (Abbildung 14). Dies zeigt, dass die Schädigung der Eiche für die Forstbetriebe trotz der Abnahme in den vergangenen Jahren weiterhin eine wirtschaftliche Beeinträchtigung darstellt.

Eiche

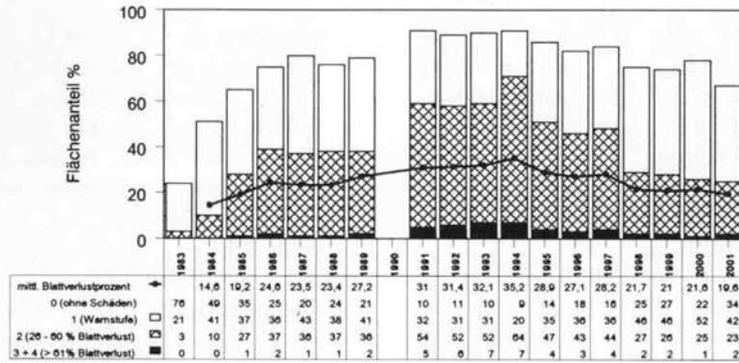


Abbildung 13: Entwicklung des mittleren Blattverlustprozentes und der Anteile der Schadstufen bei Eiche in den Jahren 1983 bis 2001

Eiche

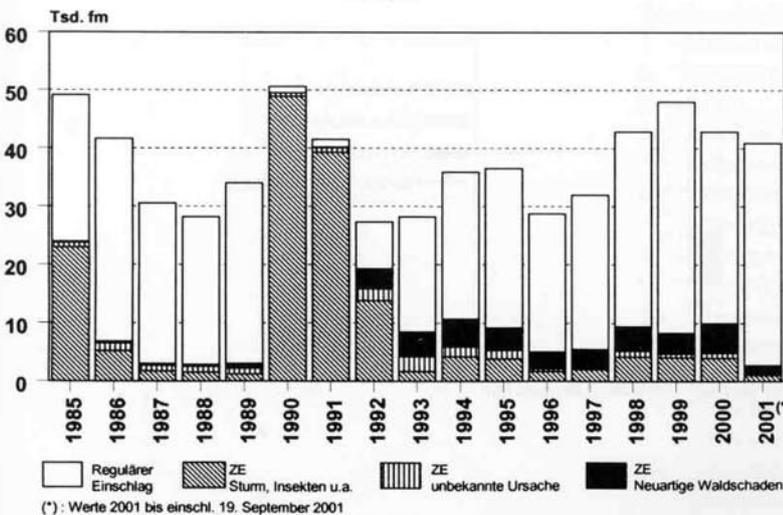


Abbildung 14: Anteil außerplanmäßiger Nutzungen (ZE) am Gesamteinschlag von Eiche im Staatswald im Bereich der Forstdirektion Unterfranken 1985 bis September 2000

2.5.6 Altersabhängigkeit der Nadel-/ Blattverluste

Bei allen Baumarten ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Alter und Schadstufenanteil festzustellen (siehe Abbildung 15). Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei den Baumarten Fichte, Tanne und Buche.

Bei Fichte und Tanne liegt der Grund dafür darin, dass sie deutlich mehr Nadeljahrgänge

ausbilden als die Kiefer (2-3). Aber auch die Buche ist von dieser Altersabhängigkeit betroffen, obwohl sie ihre Blätter jährlich neu bildet. Anders als die übrigen Laubbäume reagiert sie allerdings auf Umwelteinflüsse morphologisch mit Schiffchenbildung und Kleinblättrigkeit. Die Abbildung zeigt außerdem, dass auch

in jüngeren Beständen ausgeprägte Nadel-/Blattverluste vorkommen können. Bei den Angaben handelt es sich in allen Altersklassen um Mittelwerte mit entsprechender Streuung. So finden sich auch junge Bäume, die stark geschädigt sind oder sehr alte, die ausgesprochen vital erscheinen.

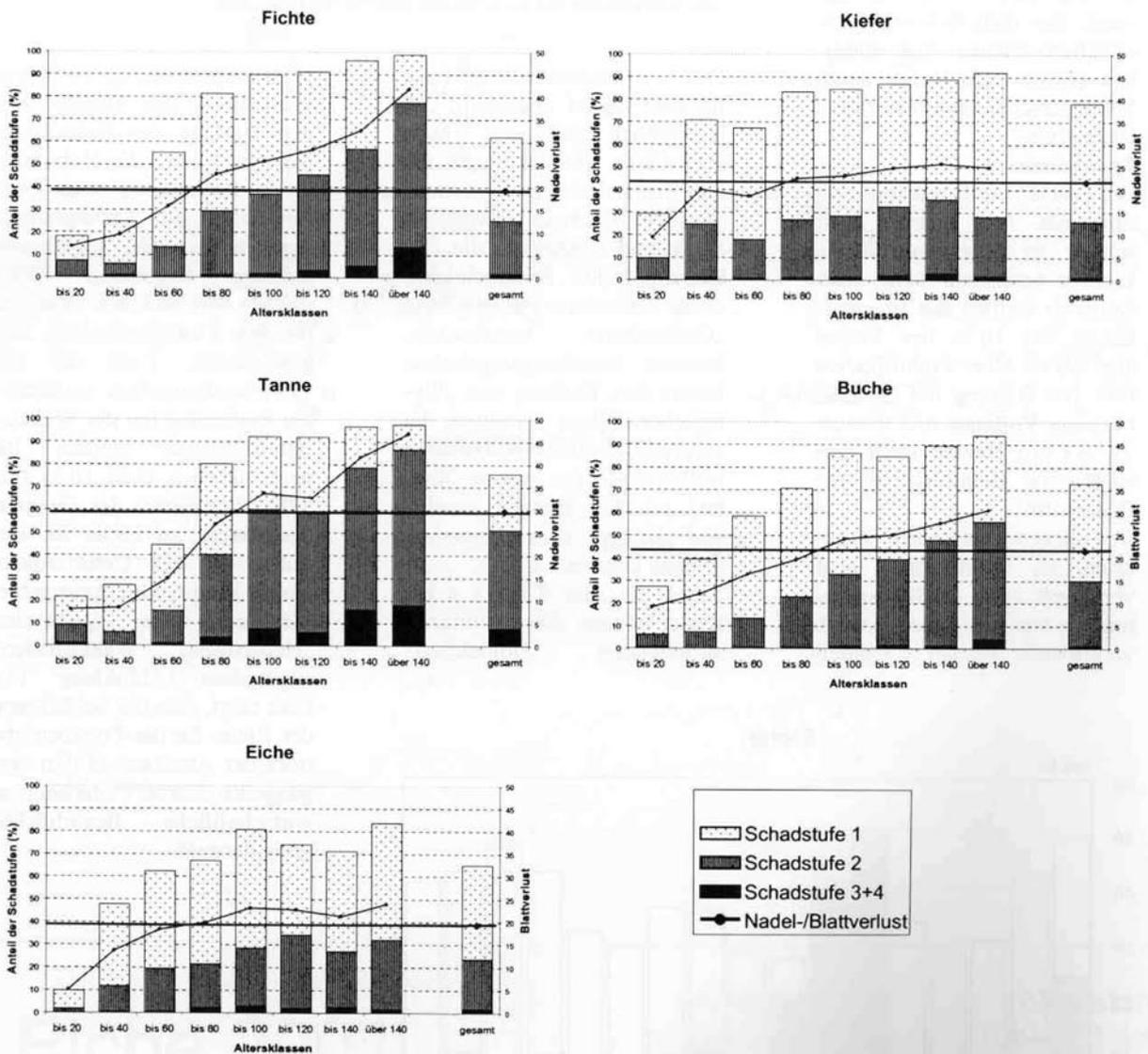


Abbildung 15: Schadstufen und Nadel-/Blattverlust für einzelne Altersstufen

2.6 Ergebnisse aus den Forstlichen Wuchsgebieten

Forstliche Wuchsgebiete sind die Gliederungseinheiten des Naturraums, in denen die Bäume auf Grund von Geologie, Standort und Klima vergleichbare Wuchsbedingungen finden (Abbildung 16). Bei Waldzustandserhebungen im 4 km x 4 km-Raster reicht die Stichprobendichte aus, um auch Ergebnisse auf Wuchsgebiets-ebene zu berechnen. Je nach Baumartenanteil und Anzahl der Beobachtungen sind die Angaben statistisch unterschiedlich gut abgesichert.

Der wuchsgebietsweise Vergleich mit den letzten Vollerhebungen der Jahre 1994 und 1997 (Tabelle 5) zeigt sehr deutliche unterschiedliche Entwicklungen in den einzelnen Regionen.

Im **Wuchsgebiet Spessart-Odenwald** (inkl. Untermain) sind die deutlichen Schäden von 22 % im Jahr 1997 auf 16 % erfreulich zurückgegangen (Abbildung 17). Bis auf die Kiefer verbesserten sich alle ausgewerteten Baumarten zum Teil erheblich. Nur bei dieser wurde eine Zunahme von 11 auf 16 % beobachtet.

Besonders deutlich ist die Erholungstendenz bei Eiche mit minus 22 und Buche mit minus

13 Prozentpunkten. Die Inventurtrupps beobachteten lokal allerdings immer noch teilweise stark verlichtete Bäume (Farbabbildungen E und F).

Zu der deutlich dichteren Be-laubung hat sicherlich der ausgeprägte Rückgang der biotischen Schäden beigetragen. Befall durch die Fraßinsekten Schwammspinner, Frostspanner und Eichenwickler wurden in diesem Jahr nur mehr bei 1,4 % der Bäume beobachtet (1997: 26 %). Vorteilhaft hat sich auch regional die günstige Witterung im Vorjahr zum Zeitpunkt der Knospenanlage ausgewirkt. Im Spätsommer sorgten hohe Niederschläge für eine ausreichende Wasserversorgung der Bäume.

In der **Rhön** haben sich die deutlichen Schäden gegenüber 1997 fast halbiert. Die Entwicklung bei Fichte, Kiefer und Buche hat zu gleichen Teilen zu dieser Verbesserung beigetragen, die auch durch die regionalen Witterungsbedingungen begünstigt worden ist. Die Anzahl der erfassten Eichen in der Rhön reicht für eine gesicherte Aussage nicht aus. Auch auf der **Fränkischen Platte** ist ein gravierender Rückgang der

deutlichen Schäden zu beobachten, vor allem gegenüber 1994, als dort mit 52 % die höchsten Schäden in ganz Bayern beobachtet wurden. Hauptverantwortlich hierfür ist das stark verbesserte Ergebnis der Eiche (19 %) und beim sonstigen Laubholz, das in diesem Wuchsgebiet besonders verbreitet ist. 2001 sind 44 % der Eichen als „ungeschädigt“ begutachtet worden. 1997 lag der entsprechende Wert noch bei 15 %, im Jahr 1994 sogar nur bei 3 %. Die rasche Verbesserung des Kronenzustandes resultiert maßgeblich aus einem drastischen Rückgang der biotischen Schäden durch die Eichenschädlinge. Kiefer und Buche haben dagegen offensichtlich auf den Trockenstress in der laufenden Vegetationsperiode reagiert und weisen gegenüber 1997 um drei bzw. vier Prozentpunkte höhere deutliche Schäden auf.

Deutlich zugenommen haben die Schäden im **Fränkischen Keuper und Albvorland**, ebenfalls einer Trockeninsel der diesjährigen Vegetationsperiode (Farbabbildung A). Sowohl das Ausmaß der Verschlechterung gegenüber 1997 wie auch das nunmehr erreichte



Wuchsgebiete:

1. Untermainebene
2. Spessart-Odenwald
3. Rhön
4. Fränkische Platte
5. Fränkischer Keuper und Albvorland
6. Frankenalb und Oberpfälzer Jura
7. Oberfränkisches Triashügelland
8. Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald
9. Oberpfälzer Becken- und Hügelland
10. Oberpfälzer Wald
11. Bayerischer Wald
12. Tertiäres Hügelland
13. Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft
14. Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge
15. Bayerische Alpen

Abbildung 16: Lage der forstlichen Wuchsgebiete in Bayern

Waldzustandserhebung in Bayern 2001

Tabelle 5: Ergebnisse 2001 nach Wuchsgebieten im Vergleich mit den Vorjahren

Wuchsgebiet	Schadstufe														
	0			1			2			3 + 4			2 - 4		
	ohne Schadmerkmale			schwach geschädigt			mittelstark geschädigt			stark geschädigt und abgestorben			Summe deutliche Schäden		
Jahr	94	97	2001	94	97	2001	94	97	2001	94	97	2001	94	97	2001
Spessart-Odenwald	20	30	31	45	48	53	32	21	15	3	1	1	35	22	16
Fichte	30	37	40	46	45	51	22	17	9	2	0	0	24	18	9
Kiefer	16	30	23	62	59	61	21	10	15	1	1	1	22	11	16
Buche	8	17	21	39	44	53	48	38	26	5	2	1	53	39	26
Eiche	5	15	33	28	49	52	63	33	12	6	3	2	70	36	14
Rhön	30	27	47	33	43	38	35	29	15	2	1	1	37	31	16
Fichte	48	45	60	25	29	28	26	25	10	1	1	2	27	26	12
Kiefer	29	22	49	55	57	39	15	20	12	1	1	1	16	21	12
Buche	21	21	37	38	48	45	40	30	18	1	1	0	41	31	18
Fränkische Platte	23	38	50	25	32	34	47	28	15	5	2	2	52	31	17
Fichte	45	65	54	31	22	34	24	13	10	0	0	2	24	14	12
Kiefer	49	49	42	33	33	37	14	16	17	4	2	5	18	18	22
Buche	9	37	33	40	41	43	49	22	23	2	0	1	51	22	25
Eiche	3	15	44	13	31	37	75	48	18	9	5	1	84	53	19
sonst. Lbh	26	46	72	34	37	20	38	17	8	2	1	1	40	18	8
Fränkischer Keuper und Albvorland	29	41	24	44	45	45	25	14	30	2	1	1	27	15	31
Fichte	39	51	40	33	40	35	26	9	25	2	0	1	28	9	26
Kiefer	31	38	11	53	51	53	15	11	35	1	1	1	16	11	36
Buche	10	35	33	42	40	37	47	25	29	1	0	1	48	25	30
Eiche	2	15	25	23	39	43	71	43	31	4	4	1	75	47	32
Frankenalb und Oberpfälzer Jura	28	44	33	40	39	41	30	16	24	2	1	2	32	17	26
Fichte	41	54	44	34	34	35	22	12	19	3	1	1	25	13	21
Kiefer	12	38	20	46	49	49	40	12	28	2	2	3	42	14	31
Buche	17	28	25	46	45	40	36	27	34	1	1	2	37	27	36
Eiche	14	14	22	37	29	53	45	53	22	4	4	2	49	57	25
Oberfränkisches Triashügelland	18	51	35	49	38	48	32	11	17	1	0	0	33	11	17
Fichte	24	42	39	43	39	37	33	18	24	0	0	0	33	19	24
Kiefer	14	50	15	55	46	67	30	4	18	1	1	0	31	5	18
Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinswald	17	45	26	42	38	49	38	16	23	3	1	2	41	18	24
Fichte	16	43	28	41	38	48	40	18	24	3	1	1	43	19	25
Kiefer	8	46	10	56	44	65	34	8	22	2	2	2	36	10	25
Laubholz	37	55	47	32	30	37	30	14	13	1	1	3	31	16	16
Oberpfälzer Becken und Hügelland	23	42	37	52	46	48	24	12	14	1	0	0	25	13	14
Fichte	32	43	41	49	43	42	18	14	17	1	0	0	19	14	17
Kiefer	10	42	30	54	48	59	34	9	11	2	1	1	36	10	12
Oberpfälzer Wald	17	53	31	57	40	51	25	7	18	1	0	1	26	8	18
Fichte	44	50	39	34	35	32	21	14	28	1	1	1	22	15	29
Kiefer	5	54	25	67	42	60	27	4	14	1	0	0	28	5	15
Laubholz	37	49	48	38	39	31	22	12	20	3	0	1	25	12	21
Bayerischer Wald	26	40	34	39	37	36	32	22	28	3	2	3	35	24	31
Fichte	34	42	35	37	34	35	27	23	27	2	2	3	29	25	30
Kiefer	25	22	17	58	64	49	16	13	33	1	0	1	17	14	35
Tanne	7	22	23	24	30	25	58	42	44	11	6	8	69	48	52
Buche	6	28	21	41	49	47	51	22	32	2	1	1	53	23	33
Tertiäres Hügelland	36	42	37	42	40	42	21	18	20	1	1	1	22	19	21
Fichte	38	42	36	40	39	42	22	18	22	0	0	1	22	18	23
Kiefer	22	36	31	60	47	54	17	16	15	1	1	1	18	17	16
Buche	39	39	45	47	48	35	14	12	20	1	1	0	14	13	21
Schwäbisch-Bayer. Schotterplatten und Altmoränenlandsch.	42	46	43	42	39	39	14	14	17	2	1	1	16	15	18
Fichte	42	50	44	43	38	39	14	11	16	1	0	1	15	12	18
Kiefer	13	5	16	61	54	51	20	36	29	6	5	4	26	41	33
Laubholz	57	52	56	28	33	30	13	15	13	2	1	1	15	15	14
Schwäbisch-Bayer. Jungmoräne und Molassevorberge	39	48	31	39	39	44	21	12	23	1	1	2	22	13	25
Fichte	41	50	30	39	39	45	19	10	24	1	1	1	20	12	25
Kiefer	25	35	16	43	41	62	28	22	19	4	3	3	32	24	22
Buche	24	38	25	46	45	50	27	14	22	3	3	3	30	17	25
Sonst. Lbh	41	57	45	39	34	34	18	8	20	2	1	1	20	9	22
Bayerische Alpen	34	34	32	34	35	30	28	27	33	4	4	4	32	31	37
Fichte	36	36	35	33	33	28	28	27	33	3	4	4	31	31	37
Tanne	16	20	20	29	31	20	47	42	48	8	8	12	55	50	60
Buche	24	21	22	41	45	43	30	29	32	5	5	3	35	34	34
Sonst. Lbh	47	49	43	37	37	30	13	13	25	3	1	2	16	14	27

(Abweichungen in der Summenbildung auf 100 Prozent sind rundungsbedingt)

Schadensniveau machen das Gebiet derzeit zu einem Schadensschwerpunkt. Die deutlichen Schäden haben sich bei Fichte und Kiefer gegenüber 1997 verdreifacht und sind bei der Buche um fünf Prozentpunkte gestiegen. Nur die Eiche zeigt einen Rückgang der deutlichen Schäden auf 32 %; dies ist aber das schlechteste Ergebnis aller Wuchsgebiete mit nennenswertem Eichenanteil.

Im Wuchsgebiet **Frankenalb und Oberpfälzer Jura** haben die deutlichen Schäden um neun Prozentpunkte zugenommen. Neben Fichte und Buche sind hier die Kronenverlichtungen der Kiefer besonders angestiegen (von 14 % auf 31 %). Die Eiche zeigt dagegen einen ausgeprägten Rückgang der deutlichen Schäden von 57 % auf 25 %.

Im **Oberfränkischen Triashügelland** sind die deutlichen Schäden bei Fichte und insbesondere Kiefer angestiegen, insgesamt haben sie auf 17 % zugenommen.

Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald waren früher ein „Hauptschadensgebiet“ in Bayern, das vor allem durch

Schwefel-Immissionen stark belastet war. Mit 42 % im Jahr 1985 und 43 % im Jahr 1994 wies dieses Wuchsgebiet mit die stärksten Kronenverlichtungen vor allem bei der Fichte auf (Abbildung 18).

Bei der Inventur 1997 konnte gegenüber 1994 ein ausgeprägter Rückgang der deutlichen Schäden in diesem Wuchsgebiet beobachtet werden. Dieser Trend hat sich nicht fortgesetzt. Die deutlichen Schäden sind bei Fichte und vor allem Kiefer erneut angestiegen und betragen insgesamt 24 % (nach 41 bzw. 18 %), nur das Laubholz hat sich in etwa gehalten. Der Anstieg in diesem Wuchsgebiet mit überwiegend sauren Standorten zeigt die sensible Reaktion unserer Waldbäume schon auf geringfügige Veränderungen.

Mit zu diesem Ergebnis beigetragen hat sicherlich die sehr ungünstige Witterungssituation zur Vegetationszeit im Vorjahr, aber auch in diesem Jahr. Auffällig ist, dass höhere Nadelverluste bei Fichte immer wieder nach trockenen und zu warmen Wintern auftreten, vermutlich weil die Bäume

zwar assimilieren, aber nicht genügend Wasser ansaugen können. Eventuell reagieren Fichten auf basenarmen Standorten auf kurzfristige winterliche Wärmeperioden auch mit erhöhtem Nadelfall, weil lebenswichtige Nährstoffe wie Magnesium nicht ausreichend in die Nadeln transportiert werden.

Im **Oberpfälzer Becken und Hügelland** sind die deutlichen Schäden gegenüber 1997 nahezu unverändert geblieben (14 %). Fichte und Kiefer haben sich hier im Vergleich zu anderen Wuchsgebieten nur geringfügig verschlechtert.

Im **Oberpfälzer Wald** wurde dagegen eine drastische Zunahme von 8 % auf 18 % beobachtet; die deutlichen Schäden haben sich bei der Fichte fast verdoppelt, bei der Kiefer verdreifacht und auch beim Laubholz zugenommen. In diesem, überwiegend von basenarmen Standorten geprägten Wuchsgebiet war die Wasserversorgung in den beiden vergangenen Vegetationsperioden eher ausgeglichen, allerdings der vergangene Winter ebenfalls zu warm.

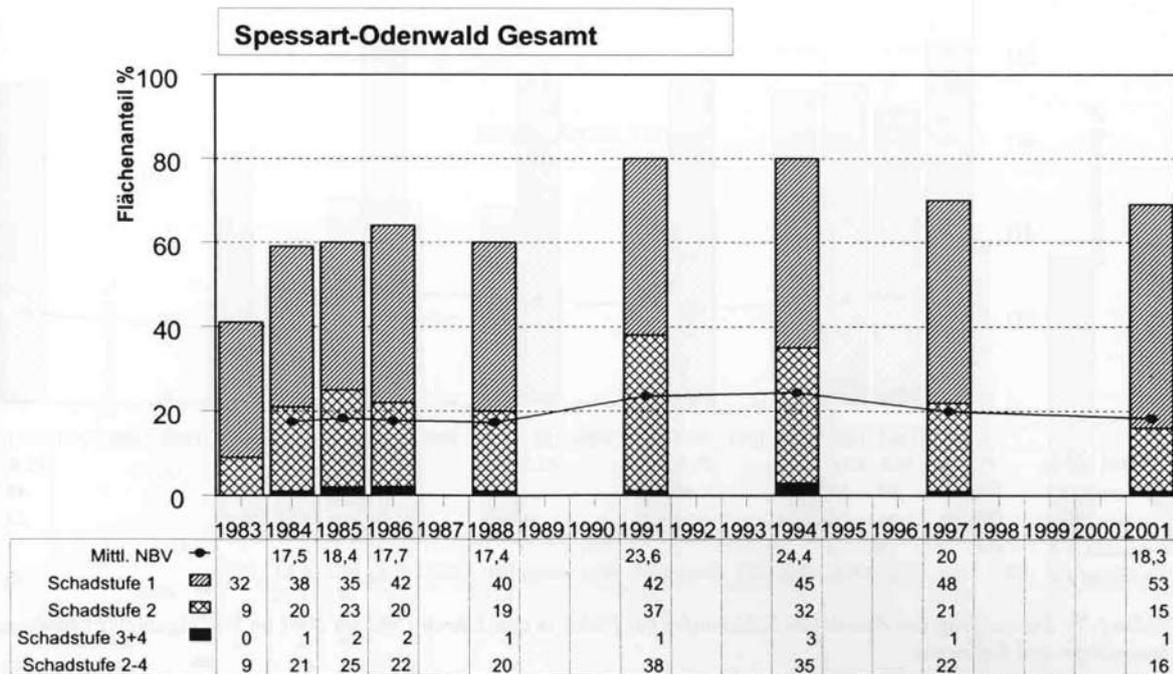


Abbildung 17: Entwicklung der Anteile der Schadstufen in den Jahren 1983 bis 2001 im Wuchsgebiet Spessart-Odenwald (alle Baumarten)

Der **Bayerische Wald**, schon immer ein „Hauptschadensgebiet“ („Tannensterben“) weist ebenfalls eine auffällige Zunahme der deutlichen Schäden auf: Mit 31 % liegen sie weit über dem Wert 1997 (24 %) und nähern sich fast dem schlechten Wert von 1994 (35 %). Fichte (30 %) und Kiefer (35 %) weisen sogar höhere Werte auf als bei der Inventur 1994. Tanne und Buche liegen zwar gegenüber den damaligen Werten günstiger, die deutlichen Schäden sind aber gegenüber 1997 z. T. kräftig angestiegen. Selbst ein Teil der Jungbestände in diesem Wuchsgebiet zeigt bereits Nadel-/Blattverluste von über 30 % (Farbbildung B).

Im **Tertiären Hügelland**, einem Wuchsgebiet, das sich großflächig südlich der Donau erstreckt, sind die Schwankungen der deutlichen Schäden gegenüber früheren Erhebungen nicht so ausgeprägt: Sie sind von 19 % (1997) wieder auf 21 % angestiegen. Maß-

geblich davon betroffen sind die Fichte und die Buche, während das Ergebnis der Kiefer nahezu unverändert ist.

Gleiches gilt für die **Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten und Altmoränenlandschaft** mit einem Anstieg der deutlichen Schäden von 15 % auf 18 %, verursacht vor allem durch die Verschlechterung bei der Fichte. Die Kiefer in diesem Wuchsgebiet hat sich gegenüber 1997 verbessert, wenn auch auf hohem Niveau (33 %). Auch beim Laubholz sind die deutlichen Schäden geringfügig gesunken (von 15 % auf 14 %).

Das Wuchsgebiet **Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge** verzeichnet mit 25 % fast eine Verdoppelung gegenüber 1997 (13 %), hervorgerufen vor allem von der Fichte (25 %). Sogar die Werte der Inventur von 1994 (22 %) wurden übertroffen. Auch Buche und übriges Laubholz haben sich gegenüber 1997 wieder deutlich erhöht,

während das Niveau der Kiefer mit 22 % um 2 Prozentpunkte niedriger liegt.

In den drei letztgenannten Wuchsgebieten waren der Mai und der Juli, regional auch der Juni erheblich zu trocken, so dass die Wasserversorgung der Bäume stark eingeschränkt war. Örtlich können auch heftige Sommergewitter mit Sturmböen eine Rolle gespielt haben. Vor allem im Westen der Wuchsgebiete, die im Dezember 1999 vom Sturm „Lothar“ besonders betroffen waren, sind noch Folgeschäden zu beobachten (ausgewehrte, jetzt fehlende ältere Nadeln, Ast- und Kronenbrüche).

Die **Bayerischen Alpen** sind mit Abstand das Wuchsgebiet in Bayern mit den höchsten deutlichen Schäden (37 %). Sie liegen im Niveau um zwölf Prozentpunkte über dem bayerischen Durchschnitt (25 %). Neben der Fichte haben sich insbesondere die Tanne und das sonstige Laubholz (vor allem Bergahorn) gegenüber

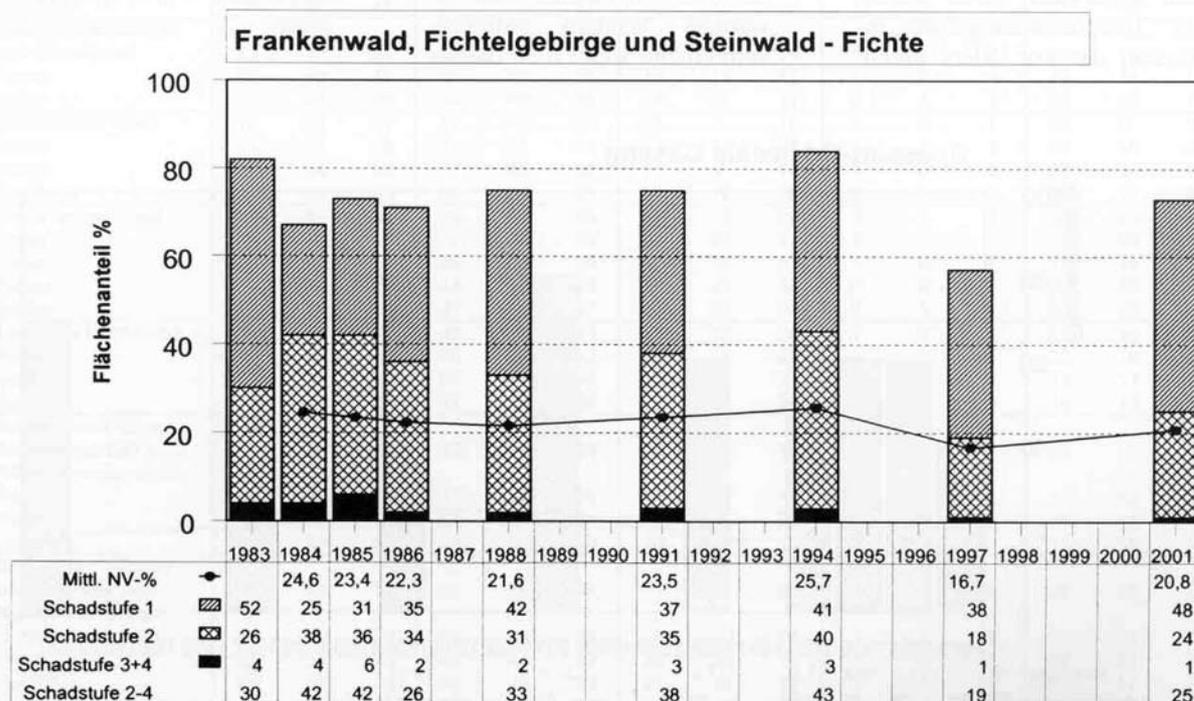


Abbildung 18: Entwicklung der Anteile der Schadstufen bei Fichte in den Jahren 1983 bis 2001 im Wuchsgebiet Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald

1997 deutlich verschlechtert. Die Buche zeigt seit 1994 ein unveränderte hohes Schadniveau von 34 %. Mit 60 % deutlichen Schäden (Schadstufe 2-4) ist die Tanne in den Bayerischen Alpen die am stärksten beeinträchtigte Baumart (Abbildung 19). Diese erneute Verschlechterung ist vor allem in den letzten beiden Jahren eingetreten.

Regional zeigt sich allenfalls in den Allgäuer Alpen und im Mangfallgebirge eine geringfügig günstigere Situation (Farbabbildung B).

Wegen der lebenswichtigen regionalen und überregionalen Schutzwirkungen des Bergwaldes, z.B. vor Hochwasser und Lawinen, gibt dieses Ergebnis Grund zur besonderen Besorgnis und zeigt auf, dass weiterhin alle Anstrengungen Vorrang haben um diese Funktionen zu erhalten bzw. wieder herzustellen. Zwar war auch im bayerischen Gebirgsraum im Mai und im Juli 2001 ein Niederschlagsdefizit zu beobachten. Dies kann die Zunahme der Schäden allein jedoch nicht erklären, da vor allem im Frühsommer Schmelzwasser aus höheren Lagen fast alle Hänge mit zusätzlichem Wasser ver-

sorgt hat und von Februar bis April reichlich Niederschläge gefallen waren.

Hinweise auf zusätzliche Schadeinflüsse geben Auswertungen der ARGE-ALPEN-ADRIA zum Ferntransport von Ozon aus Ballungsgebieten (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001) und erste Ergebnisse des bayerischen Forschungsverbundnetzes BAYFORUV, die auf eine regional erhöhte Strahlenbelastung hinweisen. Auch Untersuchungen aus Kanada (PERCY 1994) und Österreich (UMWELTBUNDESAMT WIEN 1997) weisen auf gestörte Regulationsmechanismen durch UV-Strahlung und Ozonbelastung hin, die Pflanzen empfindlich für Trockenphasen machen.

Einzelheiten zur Erhaltung und Sanierung der Schutzwälder finden sich im Kapitel 7.

Resümee

Allgemein ist festzustellen, dass in Bayern bislang Wälder nicht auf größerer Fläche abgestorben sind. Trotz zum Teil hoher Blatt-/Nadelverluste bewegt sich die Absterberate bei allen Baumarten weitgehend im natürlichen Bereich.

Die differenzierte wuchsgebietsweise Betrachtung der diesjährigen Inventurergebnisse deutet zum einen auf ein immer noch ausreichendes Maß an Regenerationsfähigkeit unserer Waldbäume hin, wenn Stressfaktoren wegfallen (z.B. Eiche). Andererseits zeigt sich aber auch eine äußerst sensible und rasche Reaktion bei negativer Änderung der Einflussfaktoren, (z.B. bei Tanne und Kiefer). Auch Buche und Fichte reagieren je nach regionalen Gegebenheiten ganz unterschiedlich. Während Witterungseinflüsse anscheinend teilweise für die jährlichen Schwankungen der Nadel-/Blattverluste verantwortlich sind, scheinen Ausmaß und Dauer der inzwischen chronischen Belastung mit schädlichen Luftschadstoffen und Säureeinträgen in den Boden sowie die in bestimmten Regionen schwindende Pufferkapazität der Böden selbst vor allem für die mehrjährigen Trends des Kronenzustands unserer Wälder entscheidend zu sein. Weitere Grafiken zu den einzelnen Wuchsgebieten enthält die Internet-Version des Waldzustandsberichtes (www.lwf.uni-muenchen.de).

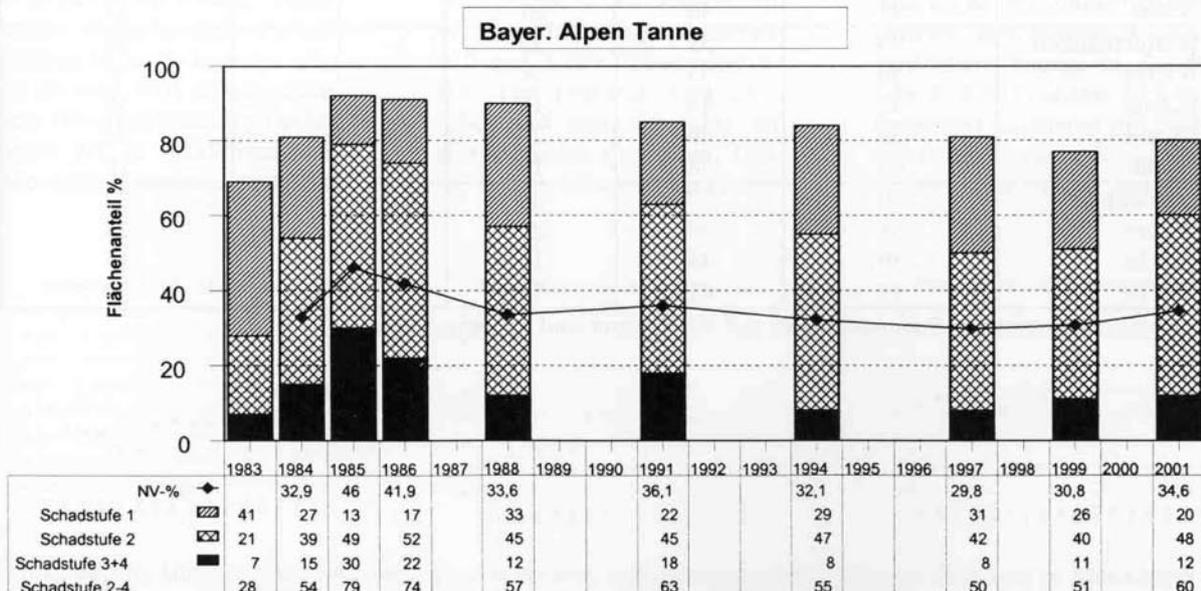


Abbildung 19: Entwicklung der Anteile der Schadstufen bei Tanne in den Jahren 1983 bis 2001 im Wuchsgebiet Bayerische Alpen

2.7 Ergebnisse aus den Regierungsbezirken

Für die Regierungsbezirke als Verwaltungsregionen sind die Ergebnisse der häufigsten Baumarten in Tabelle 6 zusammengestellt. Für kleinere

Verwaltungseinheiten (Landkreise, Forstämter) sind statistisch abgesicherte Aussagen nicht möglich. Weitere Grafiken zu den einzelnen

Regierungsbezirken enthält die Internet-Version des Waldzustandsberichtes (www.lwf.uni-muenchen.de).

Tabelle 6: Ergebnisse 2001 nach Regierungsbezirken

Regierungsbezirk	Schadstufe				
	0	1	2	3+4	2 bis 4
	ohne Schadmerkmale	gering geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt und abgestorben	Summe deutliche Schäden
Oberbayern	36	36	25	3	28
Fichte	38	35	25	3	28
Kiefer	30	51	17	3	20
Tanne	21	25	44	10	55
Buche	23	43	31	3	34
Niederbayern	31	42	25	2	27
Fichte	32	42	25	2	27
Kiefer	22	60	18	1	18
Tanne	19	25	50	7	56
Buche	22	47	31	1	31
Oberpfalz	33	42	23	1	25
Fichte	35	34	29	2	31
Kiefer	27	54	18	1	19
Buche	13	37	48	2	51
Oberfranken	27	45	27	1	28
Fichte	35	42	22	1	23
Kiefer	10	53	36	1	37
Buche	31	39	30	1	30
Eiche	13	47	38	2	39
Mittelfranken	23	47	29	1	30
Fichte	38	34	26	2	27
Kiefer	11	54	34	1	35
Buche	29	43	26	2	28
Eiche	21	48	31	1	31
Unterfranken	45	39	15	1	16
Fichte	56	35	8	1	9
Kiefer	32	49	16	2	19
Buche	30	46	23	1	24
Eiche	43	38	18	1	19
Schwaben	39	39	21	1	22
Fichte	38	39	22	1	23
Kiefer	39	45	15	1	16
Buche	39	41	19	1	20

(Abweichungen in der Summenbildung auf 100 Prozent sind rundungsbedingt)

3 Dauerbeobachtungsflächen

Die Inventurpunkte der Waldzustandserhebung unterliegen der normalen Bewirtschaftung. Die Aufnahme im systematischen Raster stellt damit eine Momentaufnahme des aktuellen Waldzustandes in Bayern dar. Weitergehende integrierende Untersuchungen und auch die langfristige Beobachtung der Entwicklung von einzelnen Bäumen werden dagegen auf den Dauerbeobachtungsflächen durchgeführt. Das Kernstück dieses „Umweltmonitorings im Wald“ stellen dabei die 22 Waldklimastationen in Bayern.

Im Gegensatz zu den systematisch über Bayern verteilten Erhebungspunkten der Waldzustandsinventur sind Dauerbeobachtungsflächen an Punkten mit besonderem wissenschaftlichen Interesse und in früheren „Hauptschadensgebieten“ eingerichtet worden. Dazu zählen z. B. Höhenprofile in den Bayerischen Alpen (Abbildung 20) oder Hochlagenstandorte im Fichtelgebirge und Bayerischen Wald. Für jeden Baum kann auf den Dauerbeobachtungsflächen die Einzelentwicklung genau verfolgt werden. So bestätigen die Daten zum Beispiel die bei der Waldzustandserhebung ermittelten Absterberaten. Farbabbildung H zeigt die Lage aller 46 im Jahr 2001 aufgenommenen Dauerbeobachtungsflächen sowie der 22 Waldklimastationen nach Hauptbaumarten und

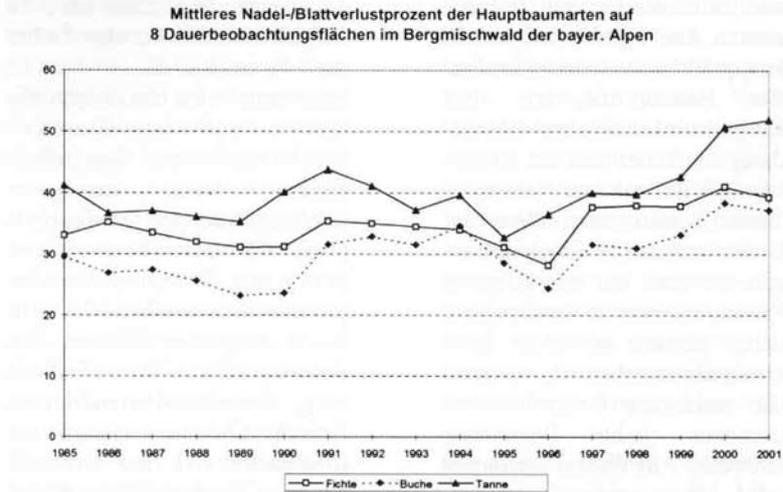


Abbildung 21: Mittleres Nadel-/Blattverlustprozent der Hauptbaumarten auf 8 Dauerbeobachtungsflächen im Bergmischwald in den Bayerischen Alpen seit 1985

deren durchschnittliches Nadel-/Blattverlustprozent. Eine detaillierte Auswertung der Dauerbeobachtungsflächen wurde kürzlich von der LWF veröffentlicht (FRANZ ET AL. 2001).

Von besonderem Interesse ist das Ergebnis auf den Bergmischwaldflächen (Abbildung 21). Die teilweise seit 1982 untersuchten acht Dauerbeobachtungsflächen im Bergmischwald liegen zwischen Berchtesgaden und Immenstadt in einer Höhenlage zwischen 610 und 1.180 Höhenmeter ü. NN. Die Bestände sind zwischen 114 und 205 Jahre alt und artenreich aus Fichte, Tanne, Buche, teilweise Kiefer und

sonstigem Edellaubholz aufgebaut. Die Auswertung der Daten für 2001 ergibt gegenüber dem Vorjahr eine geringfügige Verbesserung des Kronenzustandes bei der **Buche**. Ihr mittleres Blattverlustprozent nahm von 38,4 % im Jahr 2000 auf 37,2 % ab. Die **Fichte** verbesserte sich im selben Zeitraum um knapp zwei Prozentpunkt auf 39,3 %. Schlechter stellt sich die **Tanne** dar, die schon im Vorjahr deutlich höhere Kronenschäden aufwies; ihre mittlere Kronenverlichtung beträgt in diesem Jahr 51,9 % (Vorjahr: 50,8 %). Insgesamt stagnieren die Schäden auf diesen acht Flächen auf einem hohen Niveau, das nicht

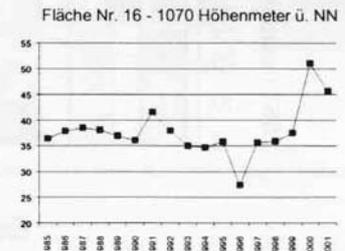
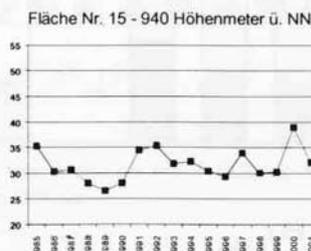
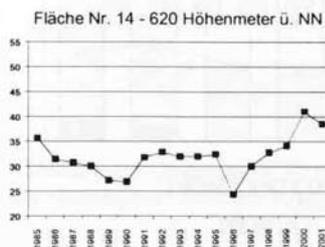


Abbildung 20: Mittleres Nadel-/Blattverlustprozent der drei, westlich exponierten Flächen am Kranzhorn im Höhenprofil

allein durch natürliche Einflüsse, vor allem die im Gebirge rauhere Witterung erklärt werden kann. Bemerkenswert ist, dass knapp 23 % der Tannen und 28 % der Buchen fruktifizierten. Die Fichten zeigten an knapp 20 % der Bäume Zapfen. Ein Höhenprofil aus drei Bergmischwaldflächen (Abbildung 20) findet sich am Kranzhorn bei Rosenheim. Neben der Tanne bereitet vor allem die Buche auf diesen Flächen Sorgen. So sind auf der obersten Fläche Buchen zu beobachten, deren talwärts gewandte Seite völlig abgestorben ist, während die geschützte Bergseite eine durchaus dichte Belaubung aufweist. Auf diesen Steillagen wird klar, welche Bedeutung der Schutzwald hat und welcher Aufwand betrieben werden müsste, um den Wald dort durch künstliche Verbauung zu ersetzen. Insgesamt verbesserte sich der Zustand auf allen drei Flächen gegenüber dem Vorjahr, die Flächen repräsentieren aber in keiner Weise einen „gesunden“ Bergwald. Besonders auffällig sind die Beeinträchtigungen der Haupt-

baumarten Buche, Tanne und Fichte im Forstamtsbereich Schliersee: Hier stiegen bei der Buche die durchschnittlichen Blattverluste um 10 % auf 43,5 %, bei der Tanne um 7 % auf 52,3 % und bei der Fichte um 7 % auf 31,7 %.

Insgesamt betrachtet folgen die Fichten auf den Dauerbeobachtungsflächen dem allgemeinen Trend geringerer Benadelungsdichte (Farbabbildung H). Bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, dass die Fichten auf den über 900 m ü. N. N. liegenden Flächen Bodenmais, Bad Tölz, Fichtelberg, Garmisch-Partenkirchen, Kreuth, Oberammergau sowie Rosenheim sich auf ein weit höheres Niveau (22 – 40 %) verschlechtert haben als dies im Durchschnitt in Bayern (19,7 % Schädigung) der Fall ist. Eine meist sprunghafte Zunahme des mittleren Verlustprozentes war hier zwischen den Jahren 1999 und 2000 zu beobachten. Diese Entwicklung hat sich 2001, wenn auch abgeschwächt, fortgesetzt. Die Fichten der höheren Lagen sind demnach

erheblich stärker beeinträchtigt als im übrigen Bayern.

Als positiv ist zu bewerten, dass die Buchendauerbeobachtungsfläche in Altenbuch sich erheblich um 7 %-Punkte verbessert hat (von 26,3 auf 19,2 %). Dies bestätigt den allgemeinen Trend der Buche im Nordwesten Bayerns.

Waldklimastationen

Auch die Waldklimastationen spiegeln den schlechten Zustand des Bergwaldes wider. Besonders stark geschädigt sind dabei die Lärchen auf der Waldklimastation **Berchtesgaden** (Abbildung 22). Mit einem mittleren Nadelverlustprozent von 48,7 % sind die Lärchen durchschnittlich um 26,5 % stärker verlichtet als zu Beginn der Inventur im Jahr 1985. Ein Befall mit Schädlingen konnte nicht festgestellt werden. Die Waldklimastation liegt auf 1500 m Höhe und ist damit extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Mehrere Meter Schnee sind in den Wintermonaten keine Seltenheit. Dennoch beunruhigt die Zunahme der Kronenverlichtung seit nunmehr vier Jahren. Die Lär-

Waldklimastationen Zeitreihe 1995 bis 2001
Lärche und Bergmischwald

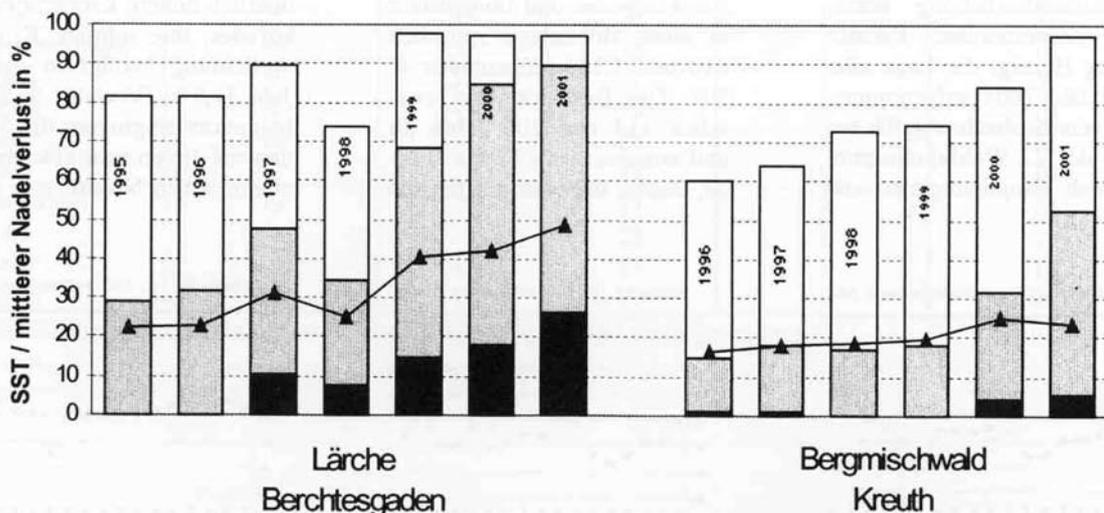


Abbildung 22: Entwicklung des mittleren Nadel-/ Blattverlustprozentes und der Anteile der Schadstufen an den Waldklimastationen Berchtesgaden und Kreuth.

chen machen einen wenig vitalen Eindruck, die Farbe der Nadeln tendiert zu graugrün. Die Fläche soll im kommenden Jahr zusammen mit weiteren Waldmonitoringpunkten in Österreich, Südtirol, Trient und der Lombardei in einem länderübergreifenden Projekt der ARGE-ALPEN-ADRIA eingehend untersucht werden.

Auf der Bergmischwaldfläche **Kreuth** (Abbildung 22) nahm das mittlere Nadel-/ Blattverlustprozent um 2 Prozentpunkte ab. Auffällig sind hier die relativ gut belaubten Buchen, während an Tanne und Fichte deutliche Nadelverluste festzustellen sind. Bei den langkronigen Bäumen der Kraftklasse 1 sind „Fenster“ im Kroneninnern zu beobachten, die eventuell durch Auswehen von Feinreisig durch Sturmwirkung entstanden sein können.

Auf der dritten Bergwaldfläche im "Großen Wald" bei **Sonthofen** liegen die Ergebnisse auf vergleichbar niedrigem Niveau wie im Vorjahr. Die Fichten machen in dem geschützt gelegenen geschlossenen Waldgebiet einen vitalen Eindruck und

weisen nur geringe Nadelverluste auf.

Allgemein fallen bei den Waldklimastationen die Fichtenwaldklimastation **Zusmarshausen** und die Buchenfläche in **Schongau** auf (Abbildungen 24 und 26). In Zusmarshausen sind nur noch 1,7 Prozent der Fichten als nicht geschädigt (Schadstufe 0) zu bewerten; die Schadstufe 3 (Kronenverlichtung von mindestens 60 Prozent) hat sich seit dem Vorjahr nahezu verdoppelt (von 1,8 % auf 3,5 %). Hier wird deutlich, dass der Sturm „Lothar“, auf den die Verschlechterung durch ausgeblasene Nadeln und Äste im vergangenen Jahr zurückzuführen war, nachhaltigere Schäden bewirkt hat: Die Defizite sind vermutlich auf gerissene Wurzeln und auf weitere mechanische Beeinträchtigungen zurückzuführen.

Die übrigen Fichtenflächen – **Ebersberg** ausgenommen – folgen dem Trend einer Stagnation der Kronenverlichtung (Abbildung 24). Der Ebersberger Forst war Anfang Juli von einem lokalen Gewittersturm erheblich betroffen.

In **Schongau** hat sich der Anteil der Buchen der Schadstufe 2 ebenfalls seit dem Jahr 2000 fast verdoppelt (31,4 % nach 16,7 % im Jahr 2000). Hier ist das durchschnittliche Blattverlustprozent um etwas mehr als 5 Prozentpunkte auf 28 % gestiegen. Dieser Wert liegt deutlich über dem bayerischen Mittelwert für 2001 (21,6 %). Ein Grund für die Verschlechterung des Kronenzustandes dürfte in der starken Fruktifikation des Großteils der Bäume liegen. Sie kann allerdings nicht die einzige Erklärung für den starken Blattverlust in den letzten beiden Jahren sein.

Die übrigen Buchenwaldklimastationen zeigen mehr oder weniger einen Trend zur Stagnation außer der Fläche in **Bad Brückenau**, die die höchste Belaubungsdichte aller Flächen aufweist (durchschnittlicher Blattverlust nur 8,2 %).

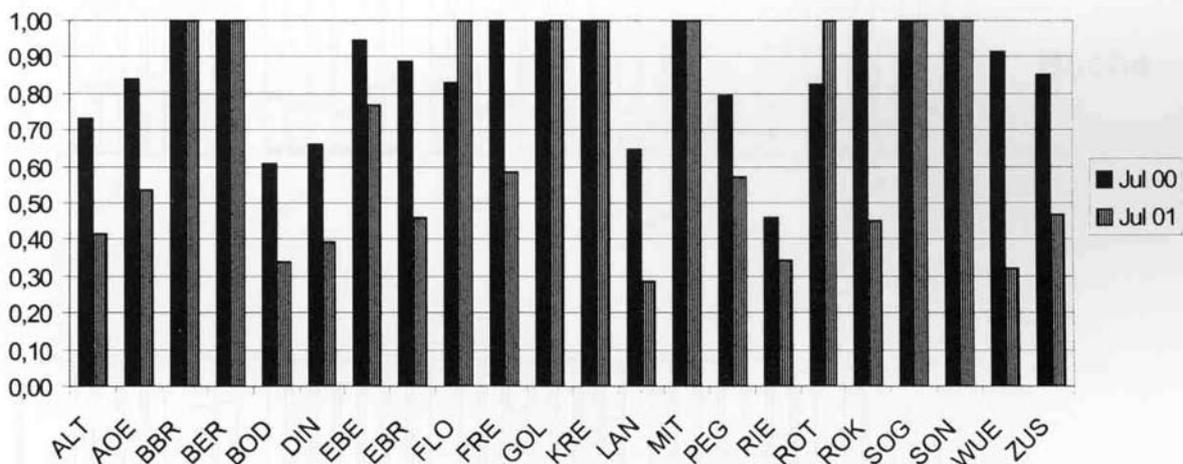


Abbildung 23: Prozentuale Wassersättigung der Böden an den Waldklimastationen im Juli 2000 und Juli 2001 (Berechnung mit Normboden - nutzbare Feldkapazität von 800 mm)

Die Kiefernflächen (Abbildung 25) stagnieren trotz der unterdurchschnittlichen Wasserversorgung in den Julimonaten 2000 und 2001 und stellen damit einen Gegenpol zum allgemeinen Trend dar.

Die in den vergangenen Jahren stark gestressten Eichen der Waldklimastationen folgen der allgemeinen Revitalisierung der Eichen in Bayern (Abbildung 27). Besonders hervorzuheben ist der Bestand in **Freising**, dessen Blattverluste sich in den vergangenen 4 Jahren von 39,5 % auf 21,1 % fast halbiert haben und der keine

Bäume der Schadstufe 3 mehr aufweist. Diese Beobachtung trifft auch für den Bestand **Riedenburg** zu, trotz einer erheblich eingeschränkten Wasserversorgung in den beiden vergangenen Sommern (relative Wassersättigung im Juli nur ca. 40 %, siehe Abbildung 23). Von **Landau** berichten die Aufnahmeteams, dass zwar die Eichen ebenfalls revitalisieren, aufgrund der starken Beeinträchtigungen der vergangenen Jahre jedoch **Feinreisig** fehlt (WALDZUSTANDSBERICHT 2000, Kronenstrukturanalyse). Damit weist

der Baum trotz größerer Blätter und dichterem Belaubung Strukturschäden auf, welche die Kronen noch immer transparent erscheinen lassen. Langfristig können die Eichen diese Lücken bei günstigen Bedingungen wieder füllen. In der Umgebung der WKS Landau waren bereits im August goldgelb verfärbte Eichen zu beobachten, deren Entwicklung in den kommenden Jahren genau verfolgt werden soll. Der Lehrstuhl für Forstbotanik der TU erforscht hier auch die mögliche Schädigung durch Phytophthora-Pilzen.

Waldklimastationen Zeitreihe 1995 bis 2001

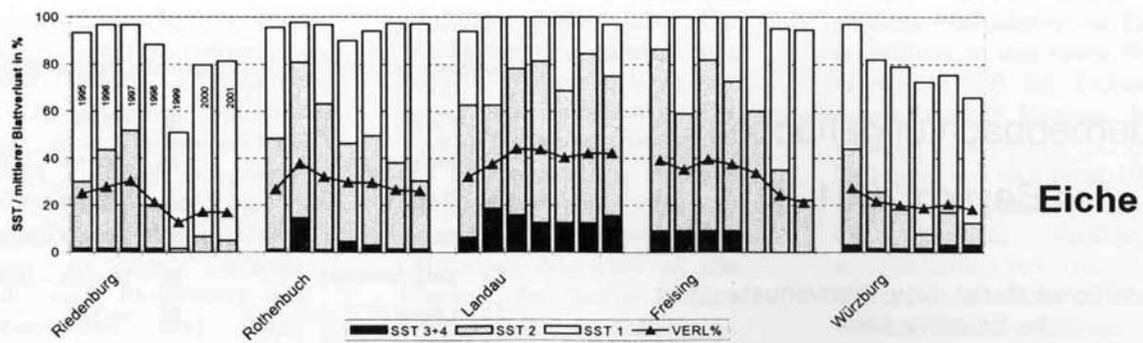
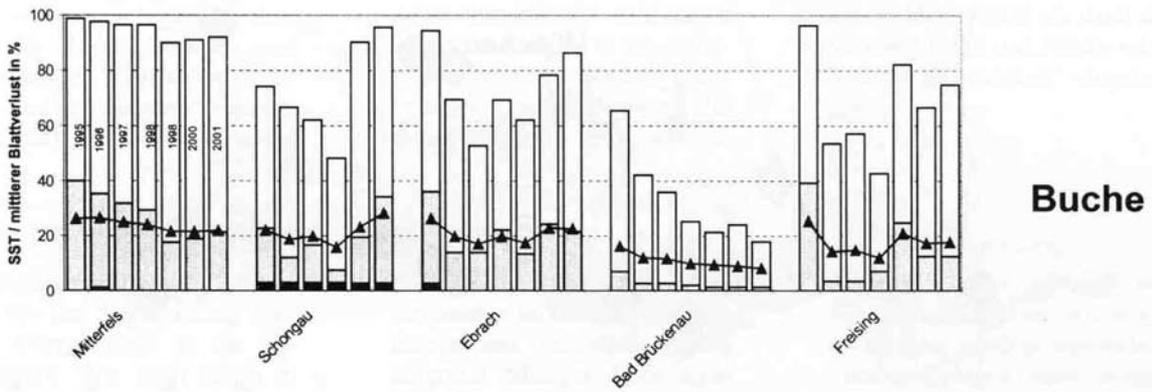
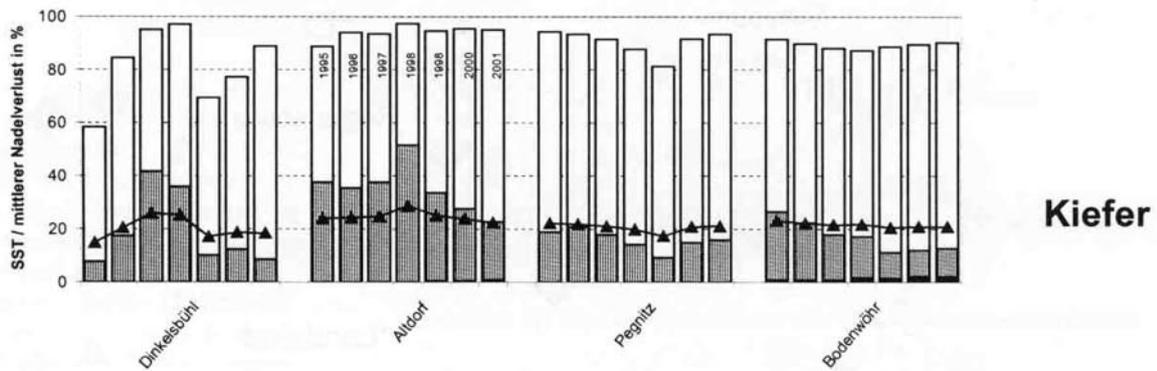
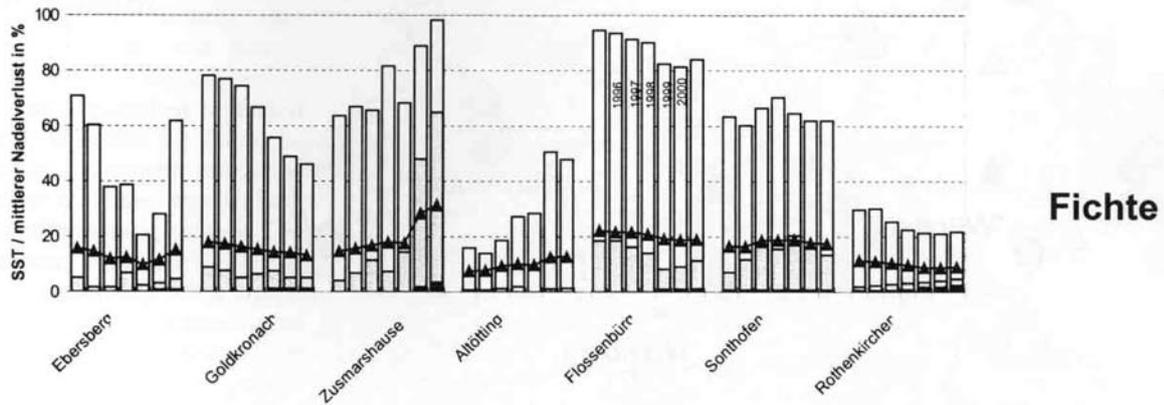
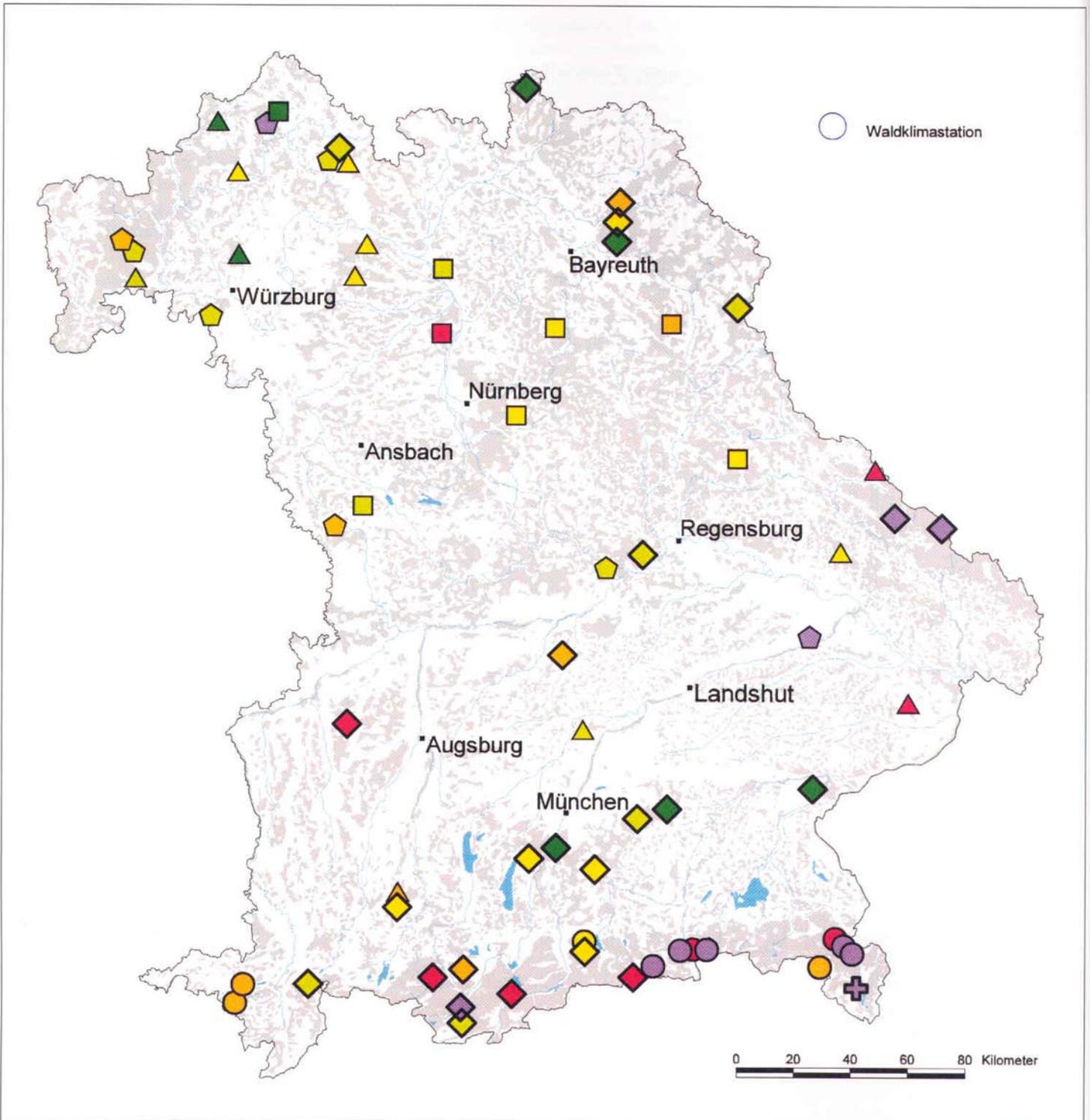


Abbildung 23 - 26: Waldklimastationen Zeitreihe 1995 bis 2001



Dauerbeobachtungsflächen in Bayern 2001

durchschnittliches Nadel- bzw. Blattverlustprozent
der Einzelflächen

Hauptbaumart

- ◇ Fichte
- Kiefer
- △ Buche
- ◊ Eiche
- Bergmischwald
- ⊕ Lärche

durchschn. Nadel-/Blattverlust

- < 15%
- 15% bis < 20%
- 20% bis < 25%
- 25% bis < 30%
- 30% bis < 35%
- ≥ 35%

4 Eintrag von Luftverunreinigungen in die Wälder

An den 22 bayerischen Waldklimastationen (Abbildung 28) wird auch der Eintrag verschiedener Nähr- und Schadstoffe im Regenwasser gemessen. Die Messreihen umfassen zum Teil bereits 10 Jahre, so dass ein zunehmend präziseres Bild zur zeitlichen Entwicklung der Stoffbelastung entsteht. Die Stationen erlauben aufgrund ihrer Verteilung über ganz Bayern darüber hinaus eine großräumige Beurteilung der Einträge, die jedoch durch lokale Faktoren wie Exposition oder Hauptbaumart überlagert sein können.

Blätter und besonders Nadeln der Waldbäume bilden eine große Oberfläche, welche die Stoffe hochwirksam aus der Luft filtert. Die Deposition in Waldbeständen ist deshalb in der Regel höher als auf unbewaldeten Flächen (Tabelle 7). Wechselwirkungen, z. B. durch Stoffaufnahme über Nadeln und Blätter, können diesen Effekt aber auch abmildern. Die Messungen erfolgen deshalb im Wald (Bestand) und zum Vergleich auf nahegelegenen unbewaldeten Flächen (Freiland). Von besonderer

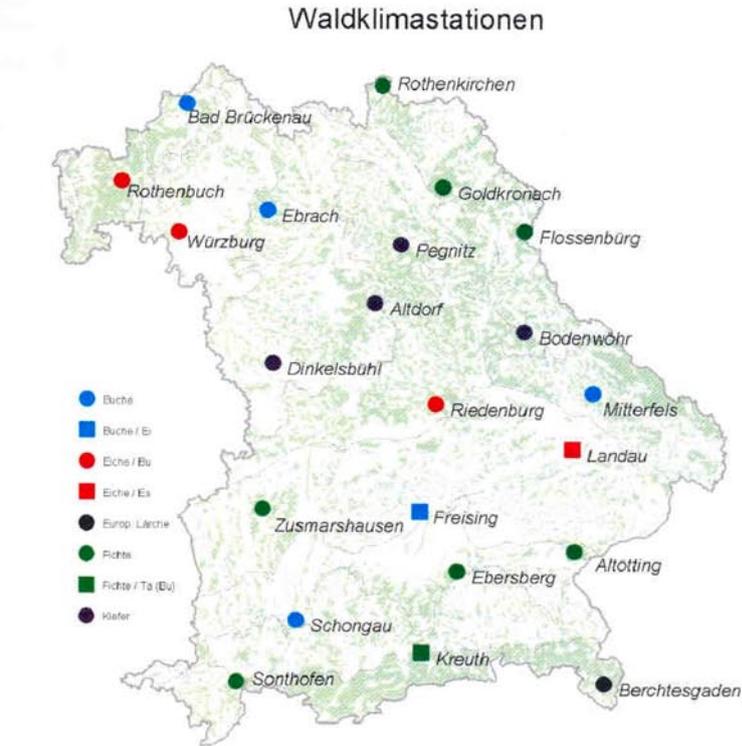


Abbildung 28: Lage und Hauptbaumart der Waldklimastationen in Bayern

Bedeutung sind Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die durch menschliche Aktivitäten in großen Mengen in die Atmosphäre entlassen werden. Diese Schadgase werden mehr oder weniger rasch umgewandelt

und können über weite Strecken transportiert werden. In die Wälder werden sie dann als Sulfatschwefel und Nitrat- oder Ammoniumstickstoff eingetragen.

4.1 Schwefeleinträge

Schwefelverbindungen gelangen bei der Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre. Wie auch schon in den Jahren zuvor sind im Jahr 2001 nur an den drei nordostbayerischen Waldklimastationen Schwefeleinträge von über 10 kg je Jahr und Hektar gemessen worden (Abbildung 29). Die restlichen Stationen zeigen, ob im Freiland oder im Bestand, deutlich niedrigere Werte zwischen 3 und 7 kg. Die auffallend höheren Belastungen an den Stationen Goldkronach, Flossenbürg und Rothenkirchen sind durch

Schwefelverfrachtungen von Emittenten im östlichen Mitteleuropa mit verursacht. Auch aufgrund häufiger Nebellagen kammern die an diesen Stationen vorherrschenden Fichtenbestände den Schwefel in besonderem Maße aus. Die Waldböden sind dadurch etwa doppelt so stark belastet wie benachbarte Freiflächen. Die Einträge haben an allen Stationen im dargestellten Zeitraum auf ungefähr ein Viertel der Ausgangswerte abgenommen (Abbildung 30). Dies ist das Ergebnis der bereits in den achtziger Jahren begonnenen

drastischen Reduzierung der Schwefelemissionen. Auch die auffälligen nordostbayerischen Stationen zeigen einen ausgeprägten Rückgang der Schwefelfrachten, der auf ebenso erfolgreiche, aber später begonnene Maßnahmen zur Luftreinhaltung in den neuen Bundesländern und der Tschechischen Republik hinweist. Mittelfristig ist auch hier mit einer Belastung von weit unter 10 kg je Jahr und Hektar zu rechnen. Die geplante Einführung schwefelarmen bzw. schwefelfreien Benzins dürfte zu einem weiteren Rückgang führen.

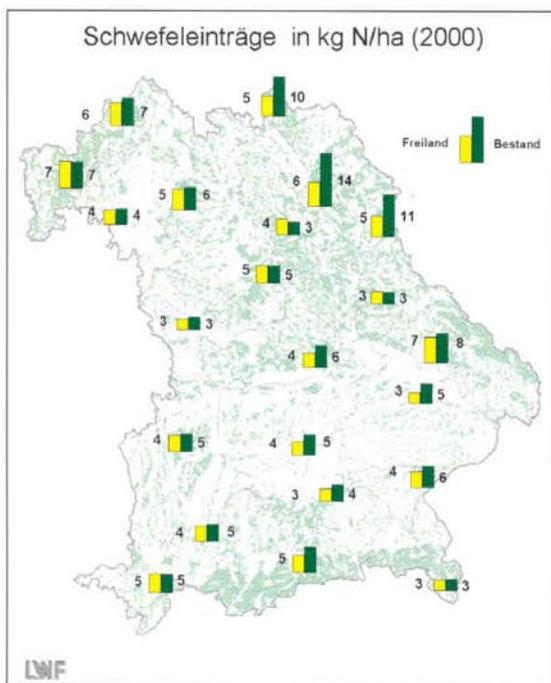


Abbildung 29: Räumliche Verteilung der Schwefeleinträge 2000

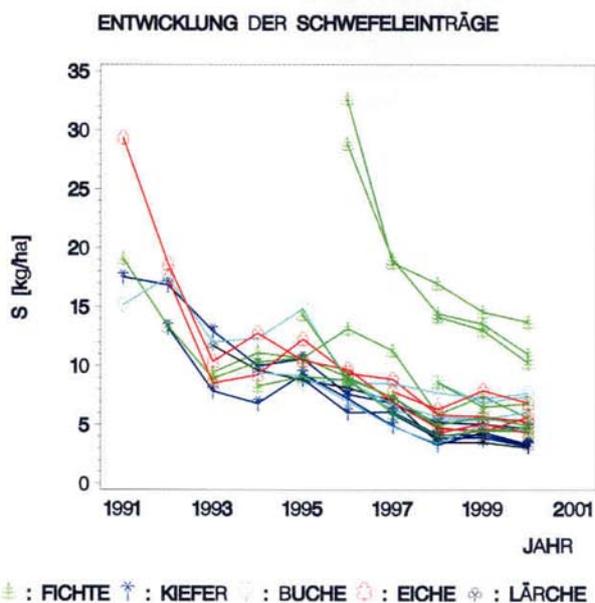


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der Schwefeleinträge an den Waldklimastationen

4.2 Stickstoffeinträge

Es gibt in Bayern zwei wesentliche Quellen für Stickstoffverbindungen: Zum einen wird bei allen Verbrennungsprozessen (Kfz-Verkehr, Industrie, Hausbrand) der Luftstickstoff oxidiert, zum anderen führt die Landwirtschaft mit Tierhaltung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zur Emission von Stickstoff in Form von Ammoniak. Anders als bei Schwefelverbindungen spielt vor allem bei Ammoniak der Nahtransport eine wichtige Rolle. Die Lebensdauer von freiem Ammoniak in der Atmosphäre ist relativ kurz, weil es rasch mit anderen Stoffen zu sauer wirkenden Ammoniumsalzen reagiert. Wälder in der Nähe starker Emissionsquellen, Waldränder und Gebiete mit starker Durchdringung von Wald und Feldflur erhalten daher besonders hohe Frachten. Aufgrund des nur kleinräumigen Zusammenwirkens von

Emission und Deposition lassen sich die ermittelten Werte deshalb nicht verallgemeinern. Wegen der im Wald liegenden Stationen sind sie auch eher als Mindestwerte für die Stickstoffbelastung der weiteren Umgebung zu verstehen. Die Karte mit der räumlichen Verteilung der Gesamtstickstoffeinträge (Abbildung 31) zeigt folgerichtig ein uneinheitliches Bild, das keine Belastungsschwerpunkte erkennen lässt. Die Einträge im Bestand schwanken stark zwischen 5 und 30 kg je Jahr und Hektar. Die Unterschiede von Freiland zu Bestandeswerten spiegeln zudem die verschiedene Filterwirkung der Baumarten wider: Fichten zeigen in der Regel deutlich höhere Werte im Bestand, die bis zum Doppelten der Freilandeinträge reichen können. Buchenkronen weisen dagegen eine geringere Filterwirkung auf, wie aus den nied-

rigeren Differenzen ersichtlich ist. Die Abbildungen 32 und 33 zeigen den zeitlichen Verlauf von Nitrat- bzw. Ammonium-einträgen an den Waldklimastationen. Es lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Im Unterschied zum Schwefel verändert sich das Niveau der Stickstoffemissionen in der Zeitreihe kaum. Die bisherigen Maßnahmen (z. B. Pkw-Katalysatoren) wirken sich anscheinend bei steigender Verkehrsdichte nicht auf die Deposition aus. Auch zeigen die in den letzten Jahren erfolgten Maßnahmen zur Verringerung der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft an den Waldklimastationen noch keine Wirkung. In Abbildung 32 fällt auf, dass drei von vier mit Eichen bestockten Waldklimastationen im Jahre 1999 deutlich zunehmende Ammonium-einträge

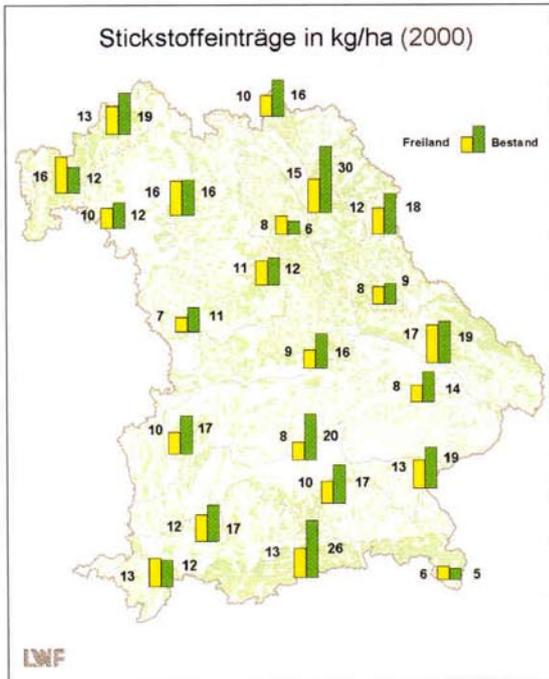


Abbildung 31: Räumliche Verteilung der Stickstoff-einträge an den Waldklimastationen 2000

zeigten, die 2000 wieder sanken. Eine größere zeitliche Auflösung (Abbildung 34) lässt deutlich höhere Einzeleinträge in der Vegetationszeit der Jahre 1999 und 2000 erkennen. Die Ursachen für diesen Anstieg sind nicht eindeutig geklärt. An zwei der Stationen (Rothenbuch und Würzburg) wurde bei den phänologischen Beobachtungen Insektenfraß von Frostspanner und Eichenwickler festgestellt, der für die Belastung verantwortlich sein kann. Bei fast allen Stationen liegt das Niveau der Gesamtstickstoffbelastung mehr oder weniger deutlich über 10 kg je ha und Jahr. Dieser fortwährend hohe Eintrag kann von Baumbestand und Boden nicht unbegrenzt genutzt oder gespeichert werden. Mit der Zeit wird das zur Sättigung der Stickstoffspeicher und zu Stickstoffausträgen in das Grundwasser führen (siehe Kapitel 5).

ENTWICKLUNG DER NITRAT-STICKSTOFFEINTRÄGE

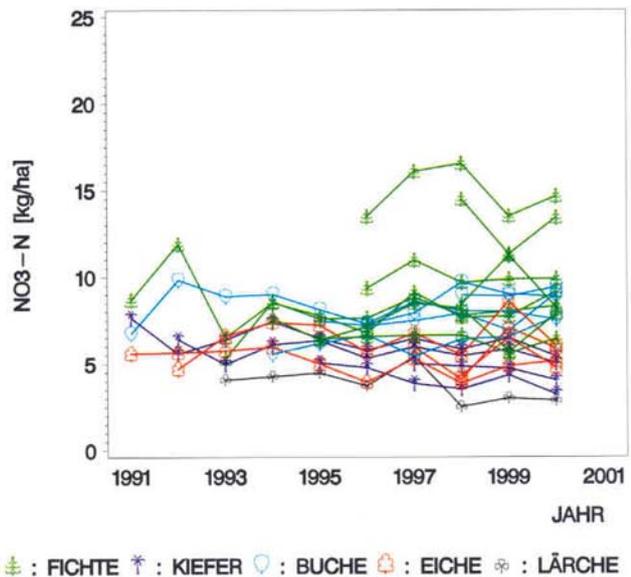


Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-Stickstoff-einträge an den Waldklimastationen

ENTWICKLUNG DER AMMONIUM-STICKSTOFFEINTRÄGE

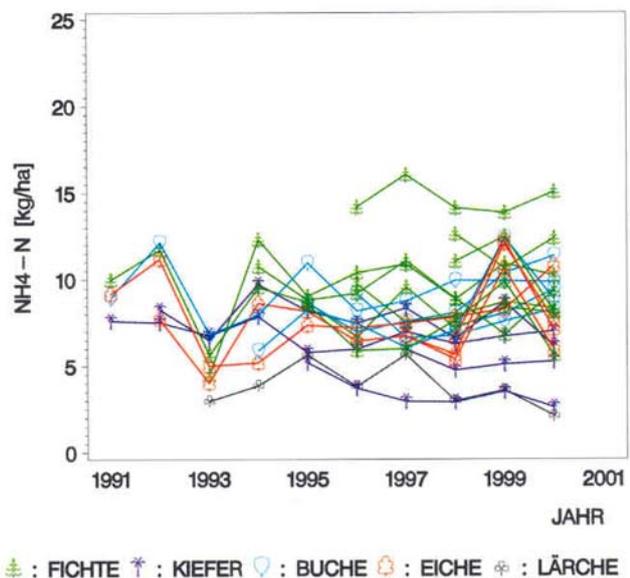


Abbildung 33: Zeitlicher Verlauf der Ammonium-Stickstoff-einträge an den Waldklimastationen

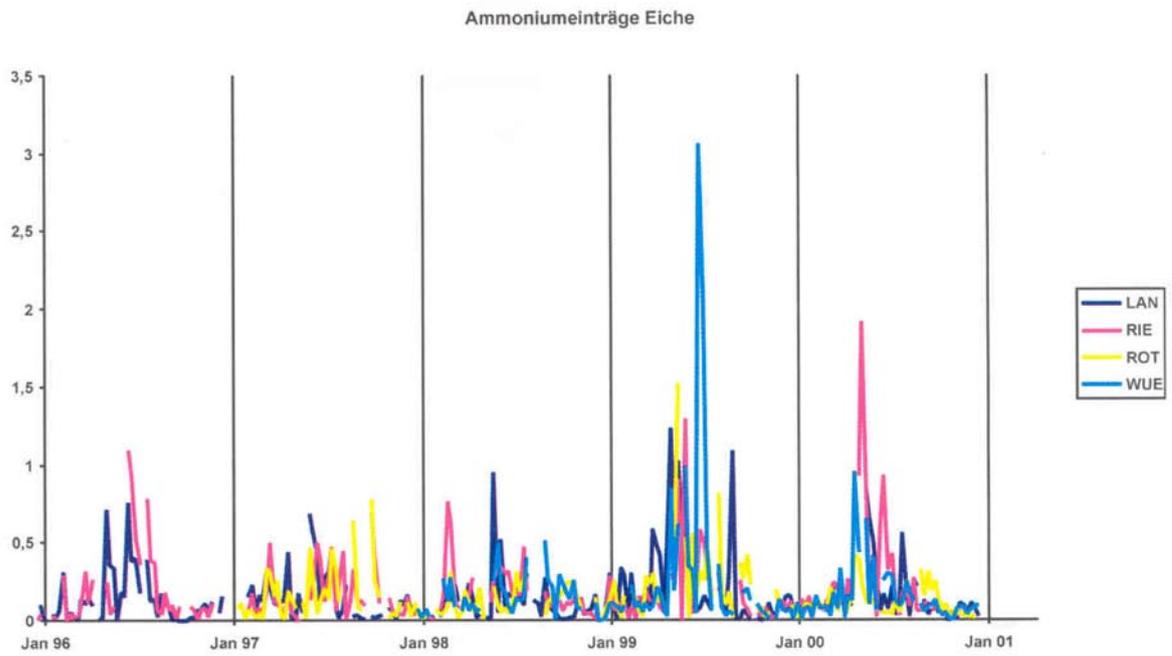


Abbildung 34: Verlauf der Ammoniuminträge an Waldklimastationen mit Eichenbestockung in wöchentlicher Auflösung (LAN= Landau, RIE= Riedenburg, ROT= Rothenbuch, WUE= Würzburg) in kmol/ha.

Tabelle 7: Niederschlagsmengen und Stofffrachten an bayerischen Waldklimastationen im Jahr 2000

Station	Baumart	Meßstelle	H ₂ O	Ca	Mg	Na	K	Mn	H ⁺	NH ₄ -N	NO ₃ -N	N	SO ₄ -S	Cl
			mm	kg / ha * a										
Altdorf	Kiefer	Freiland	742,3	7,3	0,6	3,1	2,1	0,4	0,1	6,6	4,4	11,1	4,6	6,0
		Bestand	558,5	9,6	1,3	3,6	11,3	0,4	0,1	7,0	5,4	12,4	4,7	8,5
Altötting	Fichte	Freiland	1016,7	6,4	0,7	2,4	2,1	0,5	0,8	7,5	5,6	13,0	4,3	8,3
		Bestand	644,4	9,4	2,8	2,3	19,3	1,4	0,1	10,2	8,3	18,6	5,6	11,7
Bad Brückenau	Buche	Freiland	1048,6	8,3	0,6	4,0	2,0	0,5	0,5	5,9	6,9	12,8	5,9	9,6
		Bestand	732,2	10,4	2,4	5,5	15,6	0,5	0,1	9,4	9,4	18,8	7,5	12,6
Berchtesgaden	Europ. Lärche	Freiland	1191,5	4,4	0,6	1,1	1,0	0,6	0,3	2,6	3,5	6,1	2,9	5,0
		Bestand	1106,7	7,5	1,4	1,3	7,2	0,6	0,1	2,1	2,9	5,0	3,0	6,6
Bodenwöhr	Kiefer	Freiland	708,3	3,6	0,5	2,1	2,1	0,4	0,2	4,4	3,6	8,0	3,3	5,1
		Bestand	555,8	6,2	1,0	2,3	10,8	0,7	0,2	5,3	4,0	9,3	3,2	7,7
Dinkelsbühl	Kiefer	Freiland	662,2	3,9	0,4	1,6	0,7	0,3	0,1	3,8	2,8	6,5	2,8	4,0
		Bestand	531,2	5,5	0,8	2,1	10,1	0,3	0,1	6,2	5,0	11,2	3,4	6,1
Ebersberg	Fichte	Freiland	1023,8	7,0	0,7	2,0	1,4	0,5	0,2	5,8	4,1	9,9	3,4	5,2
		Bestand	788,7	8,2	1,6	2,5	15,2	0,9	0,1	8,1	9,2	17,2	4,4	9,3
Ebrach	Buche	Freiland	760,3	10,5	0,9	3,9	4,8	0,4	0,1	10,4	5,2	15,7	5,5	8,7
		Bestand	597,9	7,7	1,9	3,1	17,7	0,4	0,1	8,3	7,6	15,8	6,1	8,0
Flossenbürg	Fichte	Freiland	989,4	5,6	0,6	2,5	1,6	0,5	0,3	5,9	5,9	11,8	5,4	5,5
		Bestand	823,9	8,4	1,5	4,0	18,2	0,6	0,3	8,3	9,9	18,2	11,0	10,9
Freising	Buche Eiche	Freiland	951,4	8,0	0,6	1,8	1,3	0,5	0,2	4,1	4,0	8,1	3,7	5,4
		Bestand	707,3	10,4	2,0	2,0	19,6	0,5	0,1	11,4	9,1	20,4	5,5	6,6
Goldkronach	Fichte	Freiland	1156,4	3,9	0,7	3,4	1,3	0,6	0,4	7,4	7,7	15,1	6,4	7,8
		Bestand	920,6	11,5	3,4	6,8	16,5	0,6	0,4	15,1	14,6	29,7	13,7	17,4
Kreuth	Fichte Tanne (Bu)	Freiland	1863,5	14,2	1,1	2,8	1,7	0,9	0,1	7,3	5,9	13,2	4,6	10,3
		Bestand	1698,1	13,2	2,4	3,7	27,6	1,0	0,1	12,4	13,4	25,8	6,8	13,1
Landau a. d. Isar	Eiche Esche	Freiland	687,2	4,6	0,5	2,0	1,4	0,3	0,2	3,9	3,9	7,8	2,9	4,5
		Bestand	591,4	24,6	7,1	1,5	22,9	0,3	0,0	7,7	6,0	13,7	5,2	7,8
Mitterfels	Buche	Freiland	1515,0	11,3	1,1	3,6	3,8	0,8	0,2	9,5	7,7	17,2	6,7	8,4
		Bestand	1243,2	7,7	1,3	4,2	24,9	0,6	0,1	9,9	8,9	18,7	7,7	8,1
Pegnitz	Kiefer	Freiland	758,6	4,7	0,6	4,8	1,8	0,4	0,1	4,3	4,0	8,3	4,1	8,6
		Bestand	639,3	7,9	0,9	3,2	6,3	0,3	0,1	2,6	3,2	5,8	3,2	7,5
Riedenburg	Eiche Buche	Freiland	695,5	4,2	0,5	1,8	1,6	0,3	0,4	5,0	3,5	8,6	3,7	4,0
		Bestand	570,7	10,5	2,1	2,1	22,8	0,6	0,1	10,8	5,1	15,9	5,7	5,7
Rothenkirchen	Fichte	Freiland	982,7	4,9	0,6	3,6	1,7	0,5	0,3	4,7	5,0	9,7	5,5	6,8
		Bestand	754,6	10,8	2,1	5,0	12,7	1,9	0,3	8,1	8,2	16,4	10,3	10,4
Rothenbuch	Eiche Buche	Freiland	1051,1	9,0	0,8	4,0	3,1	0,5	0,2	9,9	6,3	16,2	6,9	8,2
		Bestand	867,4	6,9	1,3	3,6	13,0	1,7	0,2	6,0	5,9	11,8	6,8	9,4
Schongau	Buche	Freiland	1433,5	6,3	0,9	3,1	2,4	0,7	0,1	6,4	5,8	12,2	4,1	5,6
		Bestand	1148,1	11,5	2,0	2,5	14,3	0,7	0,0	8,9	7,7	16,6	4,5	7,9
Sonthofen	Fichte	Freiland	2042,9	6,2	1,1	3,5	3,0	1,0	0,9	6,6	6,4	13,0	5,1	5,6
		Bestand	1709,3	14,6	1,8	3,4	17,5	1,2	0,2	5,6	6,4	12,1	4,9	10,4
Würzburg	Eiche	Freiland	608,4	5,6	0,5	2,8	2,9	0,3	0,1	5,9	3,7	9,5	3,8	6,2
		Bestand	445,9	8,5	1,7	2,3	18,9	0,9	0,0	7,1	4,8	11,9	4,3	8,7
Zusmarshausen	Fichte	Freiland	1026,7	6,8	0,7	1,5	1,1	0,5	0,2	4,7	5,4	10,1	4,4	4,5
		Bestand	797,6	7,3	1,2	2,7	9,5	1,5	0,1	9,4	7,9	17,2	4,8	7,4

5 Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Wälder

Luftschadstoffe wirken auf Wälder in unterschiedlicher Weise. Gase wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide oder Ammoniak können über die Spaltöffnungen der Blattorgane von Waldbäumen aufgenommen werden. Bei zu hohen Konzentrationen schädigen sie die Bäume direkt.

Schadgase werden in der Atmosphäre rasch chemisch umgewandelt. In Form von Stäuben oder im Niederschlagswasser gelöst (saure Niederschläge) werden sie von den Wäldern wirksam gefiltert und in den Waldboden eingetragen. Der Schwefel gelangt so in Form von schwefliger Säure o-

der Sulfat, der Stickstoff in Form von Salpetersäure, Nitrat oder Ammonium in Wälder und Boden. Durch den Säureeintrag verändert sich die Bodenchemie, das Sickerwasser kann belastet werden; Einflüsse auf Bodenorganismen sind bekannt. Über die Wurzeln aufgenommen werden können die

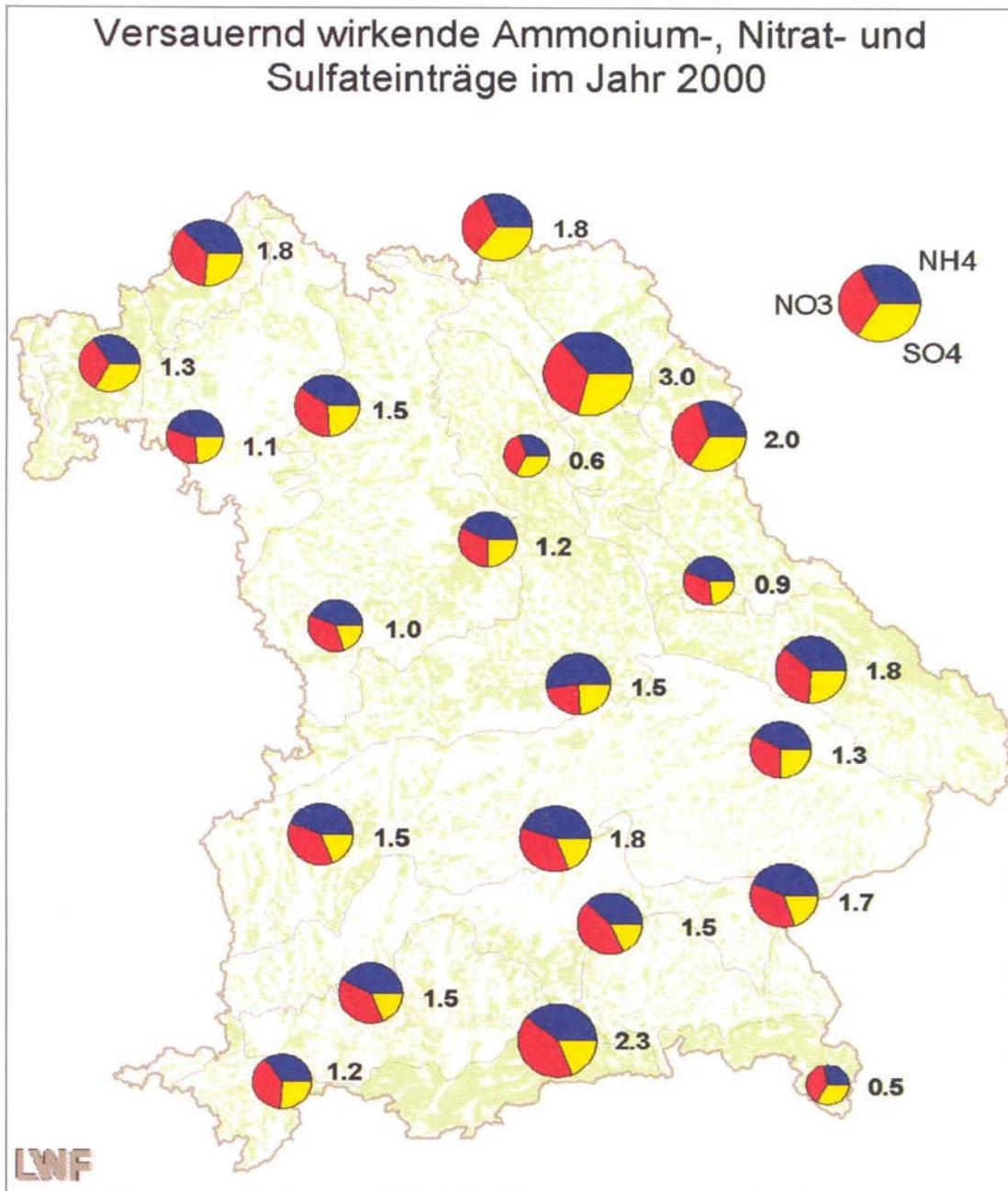


Abbildung 35: Räumliche Verteilung der Einträge an Ammonium (NH_4^-), Nitrat (NO_3^-) und Sulfat (SO_4^{2+}) an den 22 Waldklimastationen in $\text{kmol}_c \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Stoffe Waldbäume somit auch indirekt gefährden.

Schließlich können sich Stickoxide und Kohlenwasserstoffe unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung in Photooxidantien umwandeln, die ihrerseits als Stressfaktor für die Waldbäume zu betrachten sind (s. Kapitel 6.3).

Ein Beispiel für die gasförmige Belastung von Waldbäumen stellt die Anreicherung von Schwefel in Nadeln von Fichten und Kiefern dar. Nadelbäume werden deshalb auch als Indikatoren der Immissionsbelastung genutzt. Die erfolgreiche Reduzierung der SO_2 -Immissionen in den beiden zurückliegenden Jahrzehnten lässt sich in den Gehalten der Nadeln gut nachvollziehen. Selbst in den ehemals stärker belasteten Wäldern Nordostbayerns sind die in Fichtennadeln analysierten Schwefelkonzentrationen vielfach auf Normalwerte zurückgegangen.

Ergebnisse der bayernweiten Waldbodeninventur (WBI) und

der zeitnahen Bodendauerbeobachtung (BDF) wiesen noch Ende der 80-er Jahre an ca. 30 % der untersuchten Fichtenstandorte deutlich erhöhte bis sehr hohe Schwefelgehalte auf. Dem gegenüber wurde bei Nadelanalysen des forstlichen Umweltmonitorings an den Waldklimastationen (WKS) und der Bodendauerbeobachtung (BDF) aus den Jahren 1995 bis 1997 lediglich an 7 % der Standorte Belastungshinweise festgestellt. Auch wenn die Daten nicht direkt vergleichbar sind, finden sie dennoch ihre Bestätigung in jährlichen Beobachtungsreihen der LWF an Einzelstandorten.

Vergleichbar mit den Luftschadstoffkonzentrationen sind auch die Säureeinträge an zahlreichen Waldklimastationen gegenüber den Vorjahren leicht rückläufig. Vor allem die Schwefeleinträge nehmen ebenso wie die SO_2 -Immissionen landesweit und regional weiter ab. Schwefel wird aber gerade in den Hoch-

und Kammlagen der nordostbayerischen Mittelgebirge noch immer wirksam von den Wäldern ausgefiltert.

Zunehmend dominieren den Säureeintrag die Stickstoffverbindungen, die zu etwa gleichen Anteilen aus landwirtschaftlichen Quellen (Ammonium) und Verbrennungsprozessen (Nitrat) stammen. Mit mehr als 2 kmolc Säure-Ionenäquivalent je Hektar und Jahr werden an den beiden nordostbayerischen Standorten Goldkronach und Flossenbürg, aber auch an der Station Kreuth, am Alpenrand südlich Münchens, Spitzenwerte der Säurebelastung durch Schwefel, Nitrat und Ammonium nachgewiesen (Abbildung 35). Der Säureeintrag am Frankwaldstandort Rothenkirchen hat erstmals seit Messbeginn im Jahre 1996 den Wert von 2 kmolc je Hektar und Jahr unterschritten.

5.1 Versauerung und Eutrophierung der Wälder

Durch den Eintrag versauernd wirkender Protonen und Säurekationen (Sulfat, Nitrat und Ammonium) werden zwei bedeutende Prozesse in Waldböden und an Waldbäumen ausgelöst oder verstärkt:

Versauerung der Waldböden und Nährstoffverluste

Säuren werden in den Waldböden durch Nährkationen wie Calcium, Magnesium oder Kalium neutralisiert. Die Basenkationen werden dabei im Boden gelöst und aus dem Wurzelbereich mit dem Sickerwasser ausgewaschen (Versauerung). Es ändern sich dadurch die Bodeneigenschaften; die Pufferfähigkeit der Waldböden wird aufgezehrt. Wo das Ausgangsgestein bereits von Natur aus wenig Kalk und Magnesium enthält, verarmt der Boden besonders rasch an den Puffersubstanzen. Ist die Basenverfügbarkeit und

Pufferkapazität eines Bodens einmal stark reduziert, kann nur noch die nachschaffende Kraft der Verwitterung von Mineralen basische Kationen nachliefern. Maximal bis zu 1,5 kmolc basischer Pufferkationen je Hektar und Jahr werden so durch Verwitterung in leicht verfügbare Formen überführt. Mit zunehmender Versauerung verändert sich die Bodenlösung; Aluminiumkationen und Protonen dominieren das chemische Bodenmilieu. Säuren und toxische Metalle können an das Grundwasser abgegeben werden. Als Folge dieser Versauerung und der Nährstoffverluste wird auch unmittelbar die Nährstoffversorgung der Pflanzen beeinträchtigt, da basische Kationen gleichzeitig essentielle Pflanzennährstoffe sind.

Tolerierbare Säureeinträge

Als maximal tolerierbare Säurebelastung aus der Atmosphäre werden für empfindliche Waldböden je nach Ausgangssubstrat Einträge in Höhe von 0,8 bis 1,5 kmolc je Hektar und Jahr angesehen („critical loads“ für Säure). Höhere Einträge übersteigen die nachschaffende Kraft aus Verwitterung und den Zugewinn aus Staubeinträgen nachhaltig. Schwellenwertüberschreitungen werden an der Hälfte der 22 WKS-Standorte festgestellt. Wegen der in Bayern häufig anzutreffenden kalkhaltigen Ausgangsgesteine weist die Problematik der Bodenversauerung in bayerischen Wäldern eher regionale Schwerpunkte auf. Besonders ungünstig ist das Aufeinandertreffen überdurchschnittlich hoher Säureeinträge und von Natur aus basenarmen Böden in Nord- und Ostbayern.

Eutrophierung der Waldbestände

Ein Überangebot an Stickstoff löst grundlegende Veränderungen in Wäldern aus. Auf hohes Stickstoffangebot reagieren die Wälder zunächst mit stärkerem Wachstum. Übersteigt das Angebot den Bedarf bzw. die Aufnahmefähigkeit der Waldbäume und der Pflanzenvegetation, wird Stickstoff in Form von Nitrat ungenutzt mit dem Sickerwasser aus den Wäldern ausgetragen (Stickstoff-Sättigung). Weil unverwerteter Stickstoff vom Mineralboden nicht gespeichert werden kann, durchsickert das Nitrat im weiteren Verlauf ungehindert das Erdreich und kann das Grundwasser belasten. Die Funktion des Waldes als Lieferant von sauberem Grundwasser wird gefährdet; seine Filterfunktion wird überlastet. Auch das verstärkte Wachstum der Waldbäume hat auf bereits versauerten Standorten nachteilige Auswirkungen, weil es einen höheren Bedarf an essentiellen Pflanzennährstoffen erzeugt und indirekt Nährstoff-

störungen auslösen oder verstärken kann. Ferner kann sich z. B. das Artengefüge der Bodenvegetation der Wälder zugunsten nitrophiler Pflanzenarten (z. B. Brennessel) verschieben.

Tolerierbare Stickstoffeinträge

Die Obergrenze des von Wäldern dauerhaft verwertbaren atmosphärischen Stickstoffeintrages schwankt je nach Baumartenzusammensetzung und Standortbedingungen von 5 bis 25 kg Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr. Mit nachhaltig negativen Folgen (Eutrophierung, Stickstoff- und Nährstoffverlust und Gefährdung des Sickerwassers) muss an den meisten Waldstandorten bei einem Eintrag von 10 bis 20 kg Stickstoff gerechnet werden („critical loads“ für Eutrophierung). Anders als die Versauerung ist die zunehmende Stickstoffsättigung der Wälder ein landesweites Problem. An allen bayerischen Waldklimastationen liegen die aktuellen Einträge im Bereich der kritischen Belastungsgrenze.

An drei WKS-Standorten werden jährlich deutlich mehr als 20 kg Stickstoff eingetragen (vgl. Kapitel 4). Ergebnisse bayerischer Fallstudien der letzten beiden Jahrzehnte zeigen, dass die Belastungen der Wälder noch deutlich höher sein können. An exponierten Waldrändern oder in der Nachbarschaft von Intensivtierhaltungen wurden Einträge von bis zu 70 kg Stickstoff je Hektar festgestellt. Nur etwa 45 % von bislang 109 in Bayern untersuchten Waldökosystemen sind in der Lage, den eingetragenen Stickstoff gut zu verwerten ohne bereits als gesättigt zu gelten („Typ 1“, Abbildung 36). Die übrigen Bestände verlieren Stickstoff in einem erheblichen Ausmaß. In Einzelfällen werden Spitzenwerte der Nitratkonzentrationen im Bodensickerwasser in ca. 1 m Bodentiefe von bis zu 100 mg je Liter gemessen. Zum Vergleich: der Trinkwassergrenzwert liegt bei 50 mg/l. An über 10 % der untersuchten Messorte überschreitet der Stickstoff-Austrag den Eintrag

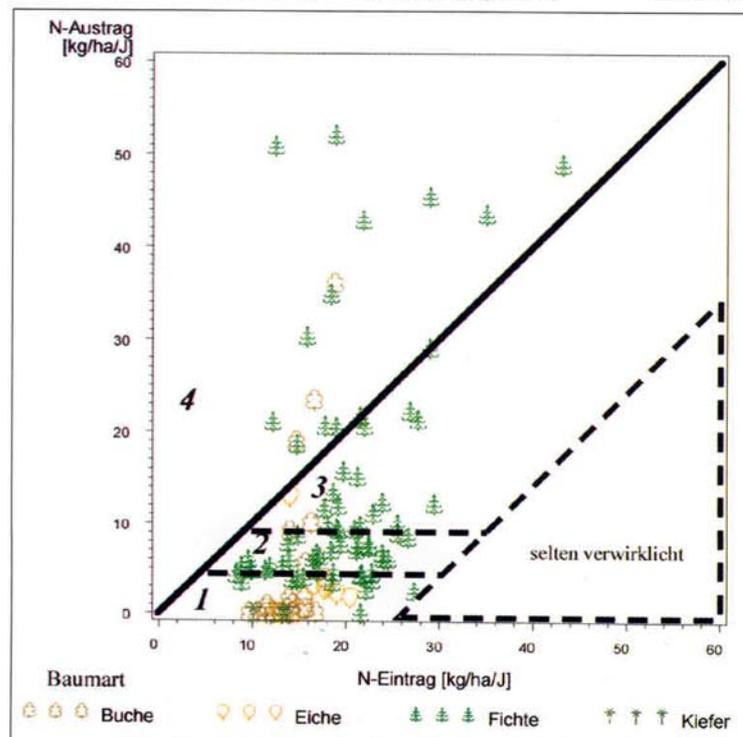


Abbildung 36: N-Bilanz bayerischer Waldbestände (109 Standorte) mit Zuordnung von Typen (1-4) des N-Status (nach BMELF 2000). 1 = nicht gesättigt, ca. 45 % der untersuchten Studien; 2 = gesättigt auf niedrigem Niveau (25 %), 3 = gesättigt auf hohem Niveau (16 %), 4 = N-Freisetzung durch Störung (14 %).

(„Typ 4“). Die Ursachen dafür liegen meist in einer (vorübergehenden) Störung des Bestandes (z. B. Borkenkäferkalamität, Sturmschäden), welche die ohnehin vorhandene Stickstoffbelastung erheblich vergrößert. Weil waldbauliche

Möglichkeiten zur Lösung des Problems der Stickstoffsättigung nur begrenzt greifen, müssen die bereits begonnenen Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffemissionen aus Landwirtschaft und Verkehr in Zukunft mit mehr Nachdruck

weitergeführt und ergänzt werden. Ansonsten ist zu befürchten, dass früher oder später die überwiegende Mehrzahl der bayerischen Waldböden in den Zustand der Stickstoffsättigung eintritt.

5.2 Folgen für die Waldböden

Deutschlandweit gelten mehr als 60 % der Waldstandorte bereits als stärker versauert. Diese Standorte besitzen nur geringe Pufferkapazitäten gegen Säureinträge. In Bayern sind basenreichere Carbonatstandorte vergleichsweise häufig (Fränkischer Jura, Muschelkalk, Kalkalpen, Voralpenland) und die Bedingungen deshalb landesweit günstiger. Etwa 30 % der Waldböden sind aufgrund ihrer guten Basenausstattung nicht versauerungsgefährdet. Rund die Hälfte wird als mäßig sauer eingestuft. Etwa 15 % der bayerischen Waldböden sind von Natur aus oder durch menschliche Eingriffe stärker versauert. Betrachtet man ausschließlich die Oberböden bis 30 cm Bodentiefe, ist der Anteil der Standorte mit stärkerer Versauerung auch in Bayern deutlich höher. Die Gefahr der fortschreitenden Versauerung basenarmer Standorte läßt sich an der Hälfte der bayerischen Waldklimastationen bei der derzeitigen Eintragungssituation unmittelbar nachvollziehen. Dort erreichen die von Säureausträgen hervorgerufenen Basenverluste an Calcium und Magnesium mit bis zu

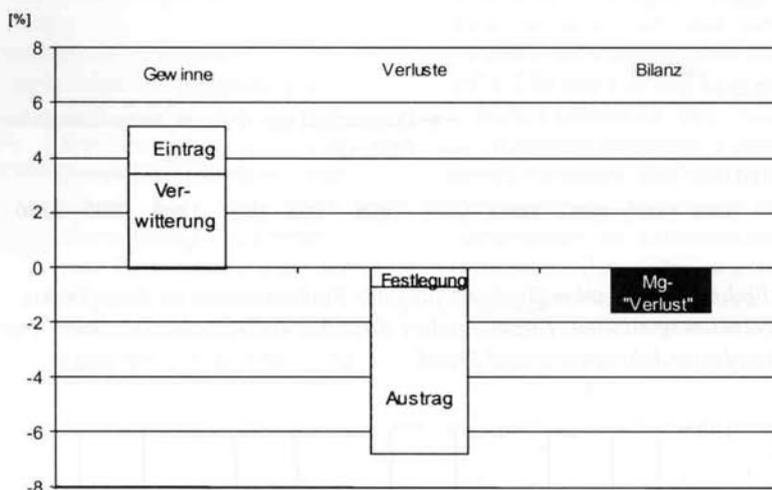


Abbildung 37: Durchschnittliche jährliche Magnesiumverluste des Fichtenbestandes an der Waldklimastation Flossenbürg in Prozent der pflanzenverfügbaren Magnesiumvorräte des Bodens (Humus + Mineralboden bis 1 m Bodentiefe) bei unveränderter Schadbelastung; Verwitterung = natürliche Freisetzung aus dem Bodenmineral; Eintrag = derzeitige, durchschnittliche Deposition über die Luft; Festlegung = durchschnittliche Speicherung im Zuwachs (Biomasse) des aufstockenden Bestandes; Austrag = derzeitige, durchschnittliche Auswaschung aus dem Boden (Basenverlust); Bilanz = [(Verwitterung + Eintrag) - (Festlegung + Austrag)];

0,8 kmol je ha und Jahr ein hohes Niveau. Aktuell betragen z. B. die Magnesiumverluste an dem gut untersuchten WKS-Standort Flossenbürg jährlich mehrere Prozent des gesamten, pflanzenverfügbaren Bodenvorrates (Abbildung 37). Dies

stellt eine nachhaltige Gefährdung des Stoffhaushaltes der dort stockenden Fichtenbestände dar. Bei unvermindert hoher Säurebelastung wird der Vorrat an pflanzenverfügbarem Magnesium innerhalb einer Waldgeneration aufgezehrt sein.

5.3 Beeinträchtigung der Waldernährung

Die Analyse von Nährstoffen in Nadeln und Blättern ist eine gute Methode zur Diagnose der jeweils aktuellen Ernährungssituation. Sie ermöglicht allerdings keine Prognose künftiger Entwicklungen. Aus langjährigen Fallstudien auf basenarmen, sauren Waldstandorten ist bereits eine Abnahme in der Verfügbarkeit basischer Pflanzennährstoffe (Calcium und

Magnesium, Kalium) als Indiz zunehmender Versauerung belegt. Auch die wachstumsfördernde Wirkung einer verbesserten Stickstoffernährung seit Mitte der siebziger Jahre ist nachgewiesen. In dem erst zehnjährigen Beobachtungszeitraum an den Bayerischen Waldklimastationen läßt sich bislang jedoch noch kein Trend fortschreitender Nährstoffver-

armung erkennen. Wohl aber gibt es auch hier Hinweise auf die zunehmende Stickstoffsättigung in Fichtenbeständen in den 90-er Jahren (Abbildung 38). Die derzeitige Versorgung bayerischer Waldbestände mit Calcium, Magnesium und Kalium kann überwiegend als günstig eingestuft werden. In den Aufnahmen der landesweiten Waldbodenin-

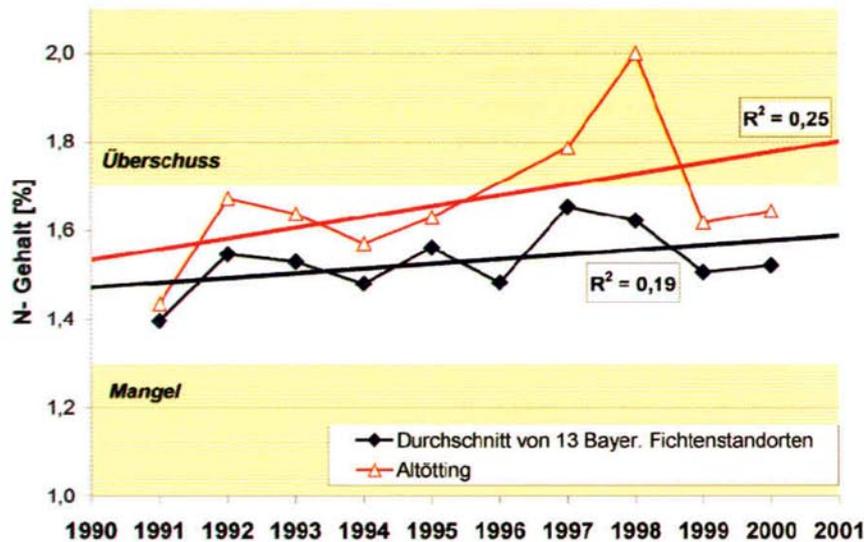


Abbildung 38: Stickstoffgehalte jüngster Fichtennadeln an Bayerischen Waldklimastationen; Einzelstandort Altötting und Durchschnitt mehrerer Standorte; Jahreswerte und Trend

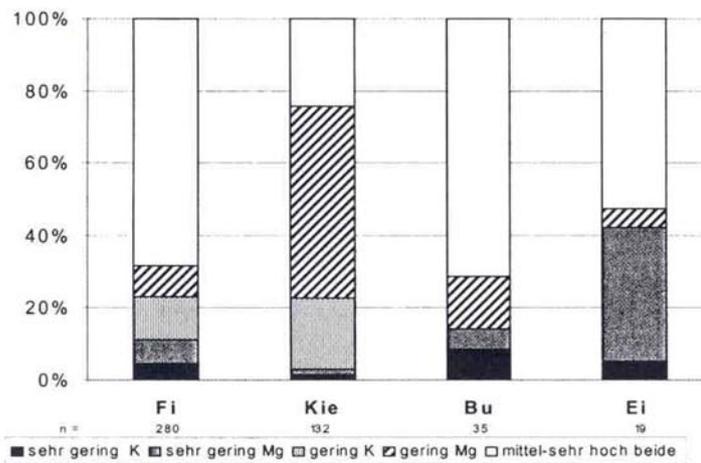


Abbildung 39: Nährstoffversorgung bayerischer Waldbäume mit basischen Nährkationen Kalium und Magnesium; relative Anteile der Standorte nach Baumarten unterschieden (Ergebnisse aus der Bayer. Waldbodeninventur 1987 (WBI) und Bodendauerbeobachtung (BDF) 1987-2001) „Sehr geringe“ Gehalte unterschreiten Schwellen zum Nährstoffmangel; Klassifizierung gemäß BMELF 1997)

ventur aus dem Jahr 1987 wurde ein hoher Anteil von Waldbeständen mit „mittleren“ bis „sehr hohen“ Blattspiegelwerten bei den basischen Nährkationen Magnesium und Kalium beobachtet. Eindeutige Nährstoffmängel dieser Stoffe blieben, mit Ausnahme der Baumart Eiche, auf deutlich unter 20 Prozent der Standorte beschränkt (Abbildung 39).

Hierin kommen die besonderen Fähigkeiten der Waldbäume zum Ausdruck, auch vergleichsweise ärmere Standorte mit ihrem Wurzelsystem zu erschließen. Jährliche Ernährungsdiagnosen an den Waldklimastationen zeigen aber, dass die Nährstoffaufnahme stärkeren Schwankungen unterliegt. In Extremjahren (z. B. infolge Witterung oder Fruktifikation) können dann selbst in den durchschnittlich nährstoffversorgten Beständen Ernährungsstörungen auftreten und Wachstum bzw. Vitalität der Bestände beeinträchtigt werden. Auf basenärmeren Standorten sind davon gleichermaßen Nadel- wie Laubbäume betroffen.

Die beobachteten Prozesse der fortschreitenden Versauerung basenarmer Standorte und landesweit zunehmender Eutrophierung der Wälder sowie die mittelfristig zu erwartenden Auswirkungen auf Grund- und Trinkwasser erfordern verstärkte und wirksame Anstrengungen zur Reduktion der Säure- und Stickstoffeinträge. Um die Wälder und ihre Funktionen nachhaltig zu sichern, müssen deshalb die Stickstoffemissionen mit ähnlichem Erfolg wie beim Schwefel gemindert werden. Profitieren davon wird auch der Schutz des Grundwassers vor Nitrat- austrag.

terverkehr sprunghaft angestiegenen Fahrleistungen (zwischen 1991 und 1999 um 26 %, zum Vergleich PKW um 10 %) sind die Ursachen für den nur zähen Rückgang der für den Waldzustand relevanten NO_x -Emissionen des Strassenverkehrs.

Unmittelbar gekoppelt mit den Fahrleistungen sind die Kohlendioxid-Emissionen. Diese entstehen analog zum Kraftstoffverbrauch. Negativ wirkt sich deshalb auch die Tendenz

zu leistungsstärkeren und schwereren Pkw aus, die die Vorteile sparsamer Motoren wieder kompensiert. Aus diesem Grund ist der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der Pkw in den letzten Jahren auch nur gering um 0,3 l pro 100 km gesunken. Der deutlich gestiegene Gesamtkraftstoffverbrauch im Güterverkehr ist allein auf die Fahrleistung zurückzuführen. Als Folge davon sind die CO_2 -Emissionen des Verkehrs nicht

wie die Luftschadstoffe gesunken, sondern zwischen 1990 und 1998 um 9% gestiegen. Eine Senkung der Stickoxid-Emissionen würde nicht nur zu einer deutlichen Reduktion der Stickstoffbelastung der Wälder und Böden führen. Eine Reduktion würde auch die Gefahr hoher Ozonwerte und dadurch verursachter Waldschäden in den Sommermonaten wesentlich verringern.

6.3 Ozon

Ozon wird aus Vorläufersubstanzen wie zum Beispiel Stickoxiden oder flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter Sonneneinstrahlung gebildet. Durch die besonderen Reaktionsmechanismen (bei hohen Stickstoffmonoxidgehalten bildet sich Ozon wieder zurück zu Sauerstoff und Stickstoffdioxid) entsteht häufig die paradoxe Situation, dass an der Quelle der Vorläufersubstanzen die geringsten Ozonbelastungen auftreten, während in emittentenarmen Gebieten hohe Ozon-Konzentrationen gemessen werden. Dabei können die Gebiete hoher Ozonwerte in 20 bis mehreren 100 km-Entfernung von den eigentlichen Schadstoffquellen liegen. Auffällig ist außerdem, dass mit zunehmender Meereshöhe auch steigende Ozon-Konzentrationen gemessen werden.

Diese Besonderheit lässt hohe Ozonwerte auch für die Wälder in den Bayerischen Alpen erwarten. Messstationen des Landesamtes für Umweltschutz in Garmisch-Partenkirchen und am Wank unterstützen diese Vermutung (Abbildung 43). Um genauere Informationen zu erhalten, plant Bayern deshalb zusammen mit den Alpenanrainern Österreich, Südtirol, Lombardei und Trient im Rahmen der Arge-Alpen-Adria ein gemeinsames Messprogramm. Dabei sollen die bereits

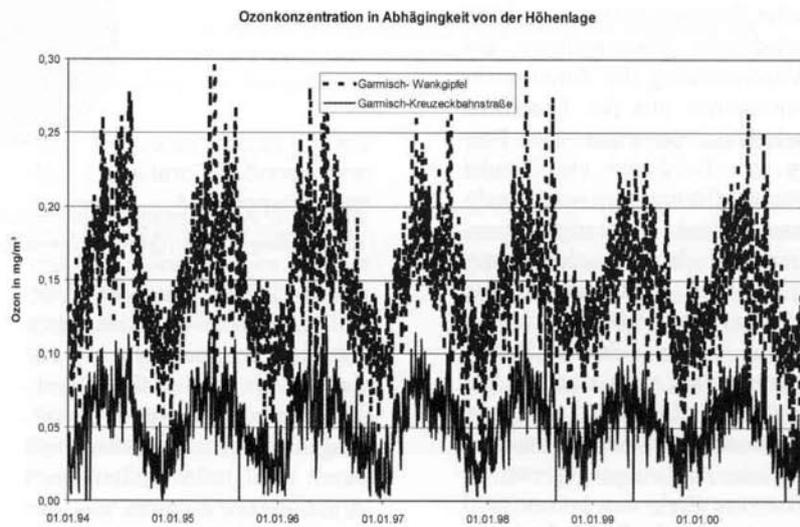


Abbildung 43: Ozon-Gehalte der Luft am Wank (gestrichelte Linie) und im Tal (Kreuzeckbahn-Talstation) (durchgezogene Linie) in mg/m^3 in den Jahren 1994 bis 2001 (Quelle der Daten: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2001)

langjährig vorhandenen Basisdaten zu Witterung, nasser Deposition, Waldwachstum u. a. an den drei bayerischen Waldklimastationen im Alpenraum, um Messwerte für Ozon und Stickoxidschadgase ergänzt werden (Passivsammlermessungen mit Validierung an einigen Aktivmessstationen). Aufgrund der einheitlichen Durchführung zusammen mit den Partnerländern im Alpenraum können die Daten gemeinsam ausgewertet werden. Die damit gewonnene breitere Datenbasis lässt neue Erkenntnisse zur Belastung der Wälder im Alpenraum erwarten.

Ozonkonzentrationen, die über natürlich bedingte Luftgehalte (20 bis $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hinausgehen, werden von Pflanzen als Stressfaktor empfunden. Schädigungen, die auf Ozon zurückzuführen sind, können nach Schönwetterperioden mit Ozonkonzentrationen über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten. Die sichtbaren Anzeichen an Bäumen sind vielfältig: Bei Laubblättern sind auf der Blattoberfläche helle, nicht scharf umrissene Flecken, bzw. auf Nadeln dunkle oder schwarze Pünktchen erkennbar. Die Symptome sind dosisabhängig (Konzentration und Dauer der Einwir-

kung) und bei älteren Blättern stärker ausgebildet. Bei hohen Ozonbelastungen werden die Blattzellen so geschädigt, dass die Beweglichkeit der Stomata (Spaltöffnungen) gestört und der Zellstoffwechsel beeinträchtigt wird. Dies bedeutet einen schweren Eingriff für den Stoffkreislauf des Baumes, denn die CO₂-Aufnahme ist vermindert und die bei der

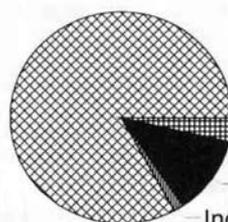
Photosynthese gebildeten Nährstoffe können nicht mehr weiterverarbeitet bzw. nicht in die anderen Teile des Baumes transportiert werden. Das Blatt wird schließlich vorzeitig abgeworfen. Die verringerte Belaubung schränkt wiederum die Photosynthesetätigkeit und damit die Biomasseproduktion der Pflanze ein (MATTYSSEK 1998).

Bei plötzlichem Anstieg der Konzentration ist die Schädigung am stärksten. Bei konstant hohem (chronischem) Ozonstress kann dagegen eine Akklimatisierung der neu ausgetriebenen Sprosse erfolgen. Eine Anpassungsform ist die Bildung kleinerer Blätter trotz ausreichender Ernährung (GÜNTHARD-GOERG u. VOLLENWEIDER 2001).

6.4 Ammoniak

Mit dem Aktionsprogramm Stickstoff 2000 hat die Bayerische Staatsregierung seit 1995 erhebliche Anstrengungen zur Verminderung der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft unternommen. Das Programm beinhaltet ein Bündel stickstoffrelevanter Maßnahmen. Neue Beratungsschwerpunkte in den Bereichen Fütterung und Produktionstechnik zählen hierzu ebenso wie der Abbau von Stickstoffüberschüssen auf der Grundlage der Nährstoffsaldierung und die Anwendung emissionsmindernder Ausbringungsgeräte. Bis zum Ende des Jahres 2000 konnten durch alle Maßnahmen des Programms die Ammoniakemissionen reduziert werden. Die ursprünglich geschätzten Einsparpotenziale durch den Rückgang der Tierhaltung und den Einsatz bodennaher Gülleausbringertechniken konnten allerdings nicht ganz erreicht werden. Andererseits führte aber die seit 1996 gültige Dün-

Tierhaltung - 517



sonstige Quellen - 22

Düngeranwendung - 76

Industrieprozesse - 9

Abbildung 44: Ammoniakemissionen in Tsd. t in Deutschland im Jahr 1999 nach Emittentengruppen (Quelle: Umweltbundesamt, 2001)

geverordnung mit der Verpflichtung zur unverzüglichen Einarbeitung von Gülle und zur Erstellung von Nährstoffvergleichen zu spürbaren Entlastungen. Insgesamt ließen sich damit die 1995 vorhandenen Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft um mehr als ein Drittel reduzieren. Erhebliche Verminderungen der Ammoniakemissionen hat der Rückgang der Viehbestände (13 %) zwischen 1989 und 1999 gebracht.

Auf die bisherigen Erfahrungen aus der Umsetzung des Aktionsprogramms Stickstoff 2000 und die Entwicklungen auf-

grund der Düngeverordnung hat die Bayerische Staatsregierung bereits reagiert. Während bisher technische Maßnahmen bei der Ausbringung von Gülle im Vordergrund standen, wird künftig die Verminderung der Verluste im Stall und bei der Lagerung einen neuen Schwerpunkt bilden. Obwohl die Landwirtschaft ihre Ammoniakemissionen deutlich reduziert hat, bleiben die Einträge weitgehend konstant. Es muss daher verstärkt erforscht werden, welche Faktoren dafür verantwortlich sind.

6.5 Kohlendioxid

Der Klimawandel stellt eine der derzeit größten umweltpolitischen Herausforderungen dar. Unter Klimaforschern besteht weitgehende Einigkeit, dass dieser Wandel bereits begonnen hat. Anzeichen hierfür sind die drastische Zunahme schwerer Stürme sowie die Tatsache, dass von den zehn heißesten Jahren seit Beginn der weltweiten Temperaturaufzeichnungen in der Mitte des 19. Jahrhunderts

sieben auf das letzte Jahrzehnt entfielen (Abbildung 45).

Als Ursache der Klimaveränderung gilt ein - durch menschliches Einwirken zumindest mitverursachter - Treibhauseffekt durch die Emission von klimarelevanten Gasen in die Erdatmosphäre. Diese Gase sind keine Luftschadstoffe im klassischen Sinn. Sie besitzen jedoch die Eigenschaft, die kurzweilige Sonnenstrahlung nahezu unge-

hindert passieren zu lassen, die von der Erde wieder abgestrahlte Wärme aber zu absorbieren. Hierdurch erwärmt sich die Erde auf eine Durchschnittstemperatur von 15°C. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es auf der Erde um 33°C kälter und Leben in der derzeitigen Form undenkbar.

Seit Beginn der Industrialisierung werden durch menschliche

Aktivitäten zusätzliche klima- beeinflussende Gase freigesetzt, die sich in der Atmosphäre anreichern. Dieser anthropogen bedingte Treibhauseffekt hat einen globalen Temperaturanstieg zur Folge. Die mit Abstand bedeutendste Rolle spielt in diesem Zusammenhang Kohlendioxid (CO₂), aber auch andere Gase (z. B. Methan CH₄, Distickstoffoxid / „Lachgas“, N₂O) sind wegen ihres zum Teil im Vergleich zu Kohlendioxid vielfach höheren "Treibhauspotentials" (englisch: GWP - Global Warming Potential) nicht zu unterschätzen. Viele dieser Treibhausgase verweilen Jahrzehnte in der Atmosphäre.

Die Mehrheit der Wissenschaftler ist davon überzeugt, dass zumindest ein Teil der beobachteten Zunahme der globalen Temperatur um ca. 0,6 bis 0,7°C in den letzten 100 Jahren anthropogen verursacht ist. Der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prognostiziert in seinen neuesten Berichten von Anfang 2001 (www.ipcc.ch) eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um 1,4 bis 5,8 °C in den nächsten 100 Jahren. Als mögliche Auswirkungen werden u.a. ein Anstieg des Meeresspiegels, eine Verschiebung

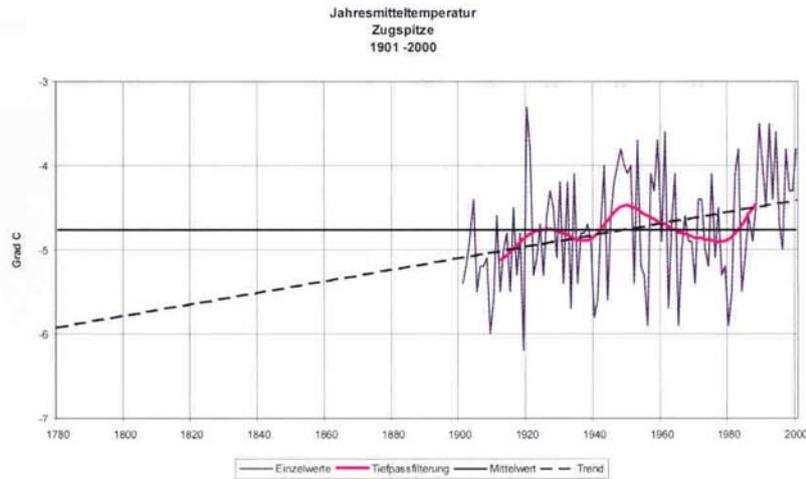


Abbildung 45: Zeitreihe der Jahresmitteltemperaturen auf der Zugspitze mit langjährigem Mittelwert, Tiefpassfilterung und Trends seit dem Jahr 1901 (Quelle der Grafik: Deutscher Wetterdienst, 2001)

der Vegetationszonen sowie das vermehrte Auftreten von extremen Wetterereignissen erwartet. Nach den langfristigen Auswertungen der MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG (1999) hat sich die Zahl der großen witterungsbedingten Naturkatastrophen wie Sturm- und Hochwasserschäden seit den 60-er Jahren deutlich erhöht. Wenngleich derartige Statistiken keine letztgültigen kausalen Beweise darstellen, hat sich weltweit die Einsicht durchgesetzt, dass vorsorgliches Handeln gegen die

globale Erwärmung unabdingbar ist.

Der Verbrennung fossiler Energieträger wird global zu ca. 50 % Bedeutung bei den klimawirksamen Vorgängen zugemessen. Kohlendioxid ist dabei das mengenmäßig wichtigste klimawirksame Gas. Nach Berechnungen der Volkswagen AG emittiert ein Golf (10 Jahre Laufzeit bei 150.000 km) neben 26 kg Stickoxiden knapp 36 t Kohlendioxid (BAYER. UMWELTMINISTERIUM 1996). Abbildung 47 zeigt den Anteil des Verkehrs an den jeweiligen Gesamtemissionen der wichtigsten Schadstoffe.

In den Bereichen Verkehr und Privathaushalte ist eine Zunahme bei Kohlendioxid in den vergangenen 10 Jahren festzustellen.

In allen Luftschadstoffbereichen hat der Straßenverkehr einen großen Anteil an den Gesamtemissionen. Im Bereich der anthropogen bedingten Kohlendioxidemissionen trägt der Straßenverkehr mit 174 Mio. t zu 20 % der Gesamtemissionen in Deutschland bei (Abbildung 46).

Mit 326 Mio. t stammen knapp 40 % des in Deutschland emittierten Kohlendioxids aus den Kaminen von Kraft- und Fernheizwerken. Gerade deshalb ist

Kohlendioxidemissionen im Jahr 1999 in Prozent (Gesamt: 859 Mt)

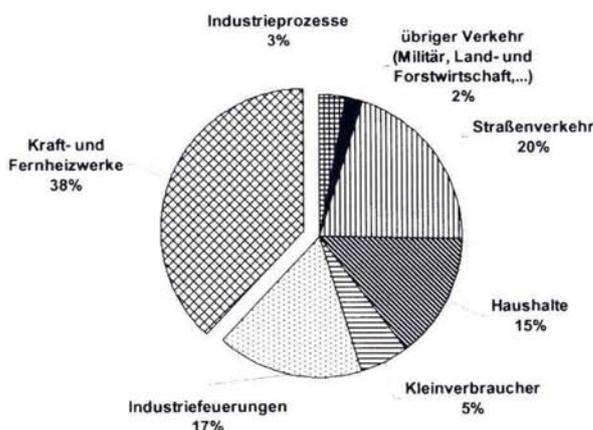


Abbildung 46: Emissionen an Kohlendioxid in Mio. Tonnen im Jahr 1999 (Quelle der Daten: Umweltbundesamt, 2001)

hier der Einsatz regenerativer Energieträger wie Holz äußerst sinnvoll und inzwischen auch erfolgreich praxiserprobt.

Holz setzt bei der Verbrennung nur das Kohlendioxid frei, das es im Laufe seines Wachstums der Atmosphäre entzogen hat und das gleichzeitig vom nachwachsenden Wald wieder aufgenommen wird. Die Verwendung von Holz ist daher „CO₂-neutral“. Damit werden Holz und Waldrestholz (Biomasse aus der Forstwirtschaft) unter den erneuerbaren Energien zukünftig verstärkt eine wichtige Rolle spielen. Inzwischen ist der Brennstoff Holz pro Energieeinheit (je nach Aufbereitungsgrad) im Preis konkurrenzfähig zu Gas oder Heizöl. Teurer sind lediglich die Verbrennungsanlagen. Insbesondere bedienungsfreundliche Hackschnitzel- oder Pelletzentralheizungen kosten noch etwa das Doppelte einer konventionellen Ölheizung. Sie werden allerdings vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle finanziell gefördert (www.bafa.de).

Bayern hat die Bedeutung der thermischen Verwendung der

6.6 Ziele und Maßnahmen zur Emissionsminderung

Einzig nachhaltige Maßnahme zum Schutz vor schädlichen Stoffeinträgen ist die konsequente Verstärkung der Luftreinhaltepolitik. Insbesondere muss es das Ziel sein, den Eintrag versauernd wirkender Substanzen in Böden innerhalb weniger Jahre auf ein Niveau abzusenken, bei dem keine weitere Versauerung empfindlicher und damit besonders gefährdender Böden eintritt.

Information

Die Reduktion von Schadstoffen kann nicht allein durch neue Gesetze oder durch staatliche Reglementierung erreicht werden. Notwendig ist das Verständnis und der Wille jedes einzelnen Bürgers und aller gesellschaftlichen Institutionen. Die Bürger sollen über

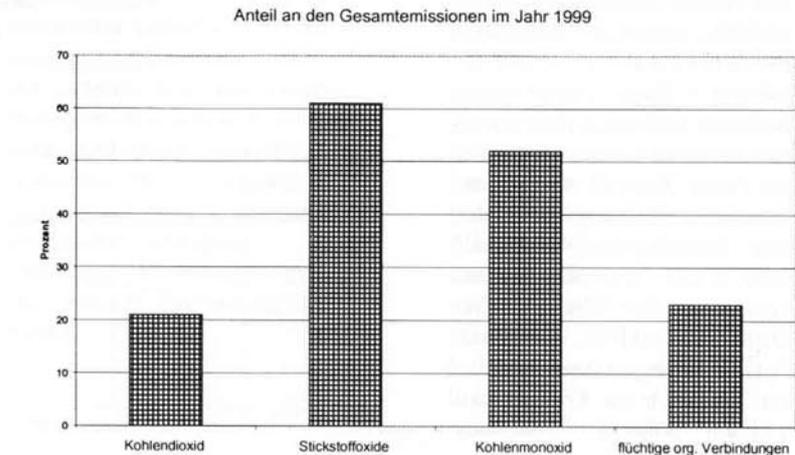


Abbildung 47: Anteil der Verkehrsemissionen in Deutschland im Jahr 1999 an den häufigsten Schadstoffen in Prozent (Umweltbundesamt 2001)

Biomasse frühzeitig erkannt. Insgesamt wurden seit 1991 zur Förderung nachwachsender Rohstoffe 295 Mio. DM bereitgestellt (davon 230 Mio. DM aus Landesmitteln). Der Schwerpunkt lag bei Projekten zur Energieerzeugung. Mittlerweile sind über 100 Biomasse-Heizwerke mit Nahwärmenetzen in Betrieb gegangen. Erfahrungen aus den bestehenden Anlagen fließen in das Förderprogramm ein, das vor allem von Kommunen stark

nachgefragt wird. Wegen der nachhaltigen Nutzbarkeit der kurzen, sicheren Transportwege und der regionalen Kreisläufe ist Holz vor allem im ländlichen Raum der ideale Energieträger der Zukunft. Potentielle Betreiber werden dabei von C.A.R.M.E.N. e.V., der bayerischen Koordinierungsstelle für nachwachsende Rohstoffe, beraten und bei der Antragstellung unterstützt.

neueste Forschungsergebnisse und über den Zustand der Natur informiert und zum Handeln motiviert werden. Dies ist Aufgabe auch dieses Waldzustandsberichtes.

Aktivitäten

Die bayerische Wirtschaft hat zusammen mit der bayerischen Staatsregierung den Umweltpakt II beschlossen, um gemeinsam an einem verstärkten Umweltschutz zu arbeiten. Bereits am Umweltpakt I haben sich über 1.300 Betriebe beteiligt und 600 Betriebe ein kostenloses EG-Öko-Audit durchgeführt. 3.500 Umweltberatungen konnten in dem fünfjährigen Zeitraum durchgeführt werden. Im europäischen und bundesweiten Vergleich liegt

Bayern damit mit Abstand an vorderster Stelle.

Wesentliche Ziele des neuen Umweltpaktes II sind:

- * Verminderung der Kohlendioxidemissionen von 92 Mio. t (1997) auf 80 Mio. t im Jahr 2010
- * Reduzierung ozonbildender Luftschadstoffe auf 160.000 t NO₂ und 210.000 t VOC (60 % bzw. 69 %) bis zum Jahr 2010
- * Steigerung der Energieproduktivität um 1/3 bis 2010
- * Ausweitung des Anteils der Biomasse am Primärenergieverbrauch auf mittelfristig 5 %.

Maßnahmen

Neben technischen Maßnahmen, wie etwa eine verbesserte Abgasreinigung durch Denox-Katalysatoren zur Reduzierung der Stickoxide bei LKWs, kann eine weitere Verminderung der oben genannten Schadstoffeinträge auch durch eine Reduzierung des Verbrauchs fossiler Energieträger erreicht werden. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

Energieeinsparung bei

- * Gebäuden (z. B. bessere Wärmedämmung; passive Sonnenenergienutzung),
- * Geräten (z. B. Eliminierung von Stillstands-Stromverbrauch bei PCs) und
- * Fahrzeugen (z. B. stärkere Nutzung des ÖPNV).

Verbesserung der Energieeffizienz bei

- * Geräten (z. B. Austausch von veralteten Haushaltsgeräten),
- * Fahrzeugen (z. B. geringerer Benzinverbrauch durch bessere Motoren) und
- * Kraftwerken (z. B. durch Kraft-Wärme-Kopplung).

Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien

- * zur Warmgewinnung (z. B. Holz, Solarthermie, Umgebungs- und Erdwärme)
- * zur Stromerzeugung (z. B. Wasserkraft, Wind, Photovoltaik)

- * als Kraft- und Treibstoff (z. B. Pflanzenöl, Biodiesel).

Eine bedeutende Rolle kann hierbei in Zukunft dem Einsatz von Wasserstoff zukommen, sofern er aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird. Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie unterstützt die Erforschung und Entwicklung emissionsfreier Fahrzeugantriebe und Tankanlagen auf Wasserstoffbasis z. B. am Münchner Flughafen.

Im Bereich der Gebäudeheizung können langfristig Brennstoffzellen auf Wasserstoffbasis nicht nur Wärme, sondern auch elektrischen Strom erzeugen.

Forstliche Maßnahmen

Um der wachsenden Bedeutung des Bodenschutzes gerecht zu werden, erarbeitet die Bayerische Staatsforstverwaltung derzeit ein Bodenschutzkonzept, das die bestehenden Einzelregelungen bündelt und weiter entwickelt. Im Rahmen dieses Konzeptes werden die Anforderungen an einen aktiven Bodenschutz im Wald präzisiert und in praxisgerechte Richtlinien für die Waldbewirtschaftung umgesetzt.

Waldbauliche Maßnahmen können nicht auf Dauer die zu hohen Einträge vor allem an Stickstoff kompensieren. Kalkung verzögert auf den von Natur aus sauren Böden Nord-

ost- und Ostbayerns bei schwererer Erkrankung der Bäume die Gefahr des Vitalitätsverlustes und des Absterbens. Damit lässt sich vor allem der Zeitraum bis zur durchgreifenden Emissionsreduktion überbrücken. Mit der Kalkung werden dem Boden rasch lösliche, säurepuffernde Carbonate zugegeben. Calcium und Magnesium werden von den Bäumen aufgenommen oder im Boden festgehalten. Das Risiko von Auswaschungsverlusten über das Sickerwasser ist aber vergleichsweise groß. Es zeigt die Begrenztheit der Anwendungsmöglichkeiten hinsichtlich Standortvoraussetzungen und Wirksamkeit. In Bayern sind nur rund 65.000 ha Wald potenziell für eine Kalkung geeignet.

Auch die Wahl geeigneter standortgemäßer Baumarten, der Aufbau gemischter Waldbestände und naturnahe Verjüngungs- und Pflegeverfahren beeinflussen gezielt den Stoffhaushalt unserer Wälder. Eine betont naturnahe Waldbewirtschaftung und der seit Jahren praktizierte Umbau von Nadelholzreinbeständen in standortgerechte Mischwälder sind deshalb in vielen Teilen Bayerns geeignet, die Wirkung schädlicher Luftschadstoffe und Säureeinträge in den Boden in einem bemessenen Rahmen abzupuffern.

7 Schutzwaldsanierungsprogramm

Das Schutzwaldsanierungsprogramm zielt auf die Sicherung und Wiederherstellung der Schutzfunktion der Bergwälder in Bereichen, in denen der Zustand des Schutzwaldes gefährdet ist und die Sicherung der Schutzfunktion im Rahmen der regulären Waldpflege nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. Das Programm geht auf einen Beschluss des Bayerischen Landtags aus dem Jahr 1984 zurück und wurde wiederholt bestätigt (zuletzt mit Beschluss vom 9.5.2001). Ziele und Aufgaben des Schutzwaldsanierungsprogramms sind die Erfassung des Zustandes der Schutzwälder, die Bewertung der Dringlichkeit der Sanierung sowie die Planung und Durchführung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen. Vorrangiges Ziel ist es, zunächst durch die Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen (Trennung von Wald und Weide, angepasste Schalenwildbestände) die natürliche Regenerationsfähigkeit der Wälder zu fördern. Erst wenn die natürliche Reproduktionskraft der Wälder örtlich nicht ausreicht, wird in Bereichen, in denen eine Gefährdung von Siedlungen oder Infrastruktureinrichtungen besteht, eine gezielte Wiederbewaldung mit standortgerechten Baumarten durchgeführt. Soweit notwendig werden zum Schutz der Waldverjüngung vor Schäden durch Gleitschnee und Lawinen auch temporäre Verbauungen aus Holz errichtet. Darüber hinaus werden in Einzugsbereichen gefährlicher Lawenstriche von der Wasserwirtschaftsverwaltung permanente Schutz-

Tabelle 8: Gefährdungs- und Sanierungsgebiete, Sanierungsflächen

	Anzahl		Fläche in ha	
	gesamt	vordringlich	gesamt	vordringlich
Gefährdungsgebiete	48	-	29.73	-
Sanierungsgebiete	200	54	130.45	28.395
Sanierungsflächen	1.171	420	12.611	4.613

bauwerke errichtet, in deren Schutz ebenfalls junge Bäume eingebracht werden.

Grundlage für alle Sanierungsmaßnahmen ist eine Planung, die fortlaufend konkretisiert wird. Dabei werden Sanierungsflächen ausgewiesen. Zur Koordination werden einzelne Sanierungsflächen zu großräumigen Sanierungsgebieten zusammengefasst. Weiterhin werden Gefährdungsgebiete mit hoher Schutzbedeutung dargestellt, in denen derzeit (noch) keine aktiven Maßnahmen nötig sind.

Von den rund rd. 250.000 ha Wald in den bayerischen Alpen sind 147.000 ha Schutzwald gemäß dem Waldgesetz für Bayern. Der aktuelle Stand der Sanierungsplanung (Tabelle 8) zeigt, dass auf knapp 9 % der Schutzwaldfläche Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. Das Schwergewicht der Maßnahmen liegt dabei auf den kostengünstigeren biologischen Pflanzverfahren (Tabelle 9).

Seit Beginn des Programms wurden von der bayerischen Staatsforstverwaltung für die Schutzwaldsanierung rd. 87 Mio. DM aufgewendet. Insgesamt wurden im Rahmen der Schutzwaldsanierung bisher rd. 9,7 Mio. junge Bäume gepflanzt.

Sicherung der Rahmenbedingungen

Entscheidend für den Erfolg der Waldverjüngung und der Sanierungsmaßnahmen sind angepasste Schalenwildbestände, die ein Aufwachsen der Verjüngung ohne Schutzmaßnahmen zulassen. Zwischen 1980 und 1995 wurde der Schalenwildabschuss im Bergwald nahezu verdoppelt. Spezielle Jagd- und Fütterungskonzepte tragen ebenfalls dazu bei, den Wildverbiss zu reduzieren. Wichtige Maßnahmen sind hierbei zum Beispiel die Schonzeitaufhebung in Sanierungsgebieten während schneearmer Perioden im Winter oder die Einrichtung von Wintergattern für Rotwild. In vielen Bereichen ist es gelungen, die überhöhten Schalenwildbestände an die landeskulturellen Erfordernisse anzupassen. Dies belegen die Ergebnisse des aktuellen forstlichen Gutachtens zur Situation der Waldverjüngung (BayStMLF 2000). Danach ist der Leittriebverbiss im Bergwald bei allen Baumarten seit 1991 kontinuierlich zurückgegangen, zum Beispiel bei Tanne von 38 % auf derzeit 10 %. Dennoch bestehen nach wie vor lokale Probleme, die gezielt angegangen werden müssen. Eine wichtige Grundlage für die Sicherung der erreich-

Tabelle 9: Schwerpunkte bei den Sanierungsmaßnahmen

Umsetzung der Planung 1987 – 2000					
Sanierungsflächen (Stand der Planung)	davon wurden begonnen		davon sind abgeschlossen (Erstmaßnahmen)		
	Anzahl	%	Anzahl	%	Fläche
1.171	613	52	254	22	2.383 ha

ten Erfolge bzw. weiterer Verbesserungen sind die kürzlich herausgegebenen Vollzugshinweise für die Bejagung des Schalenwildes in den Staatsjagdrevieren der Bayerischen Staatsforstverwaltung.

Vor allem im oberbayerischen Alpenraum spielt zudem die Waldweide regional eine große Rolle. Durch verstärkte Anstrengungen konnten seit 1987 ca. 20.000 Hektar Staatswald von der Weide freigestellt werden. Davon lagen über 12.500 Hektar im Schutzwald und über 6.000 Hektar in Sanierungsgebieten.

Erfolge der Sanierungsmaßnahmen

Zur Sicherung des Sanierungserfolges hat die Bayerische Staatsforstverwaltung ein um-

fassendes Controllingsystem eingerichtet, das eine regelmäßige systematische Überprüfung der Entwicklung der einzelnen Flächen gewährleistet. Dieses Controllingsystem beinhaltet die jährliche Kontrolle und Beurteilung aller Flächen durch die Revierleiter und eine periodische Aufnahme ausgewählter Flächen (derzeit rund 900 ha) nach einem wissenschaftlich abgesicherten Stichprobenverfahren.

Nach aktuellem Stand wurde auf rund der Hälfte der Flächen der Sanierungserfolg als gut oder zufriedenstellend angesprochen. Auf rund 7 % der Fläche konnten bisher keine deutlichen Verbesserungen erreicht werden. Mehr als 15-jährige Erfahrungen haben in

einem stetigen Lern- und Optimierungsprozess mittlerweile Planung und Ausführung nachweislich verbessert.

Bei den schwierigen Standortbedingungen im Alpenraum werden jedoch auch in Zukunft einzelne Rückschläge nicht vollständig zu vermeiden sein.

Die Ergebnisse des Controllingsystems zeigen ebenso wie begleitende wissenschaftliche Untersuchungen, dass der eingeschlagene Weg der Schutzwaldsanierung richtig und erfolgreich ist. Aufgrund des langsamen Wachstums der jungen Bäumchen im Gebirge wird jedoch noch einige Zeit intensiver Anstrengung nötig sein, um dauerhafte Erfolge zu erzielen.

8 Biotische Schäden

In diesem Jahr fielen bei der Fichte zwei biotische Schaderreger besonders häufig auf: die Kleine Fichtenblattwespe und der Buchdrucker. Während die erstere zu den nadelfressenden Insekten gehört, deren Fraß nicht zum sofortigen Absterben der befallenen Fichten führt, entwickelt sich der Buchdrucker unter der Rinde und sein Befall führt meist zum Absterben der betroffenen Fichte.

Nach 2 bis 3 Jahren mit eher mäßigen Fraßschäden war in diesem Frühjahr in den chronischen Befallsgebieten der Kleinen Fichtenblattwespe (südost-bayerischer Raum) teilweise wieder eine massive Zunahme des Blattwespenfraßes zu verzeichnen. Betroffen waren insbesondere Befallsgebiete in den Forstamtsbereichen Wasserburg, Altötting, Traunstein, Landshut, Landau und Gries-

bach. Im Unterschied zu den beiden Vorjahren war 2001 das zeitliche Zusammentreffen zwischen Austrieb der Fichtenknospen und Eiablageflug der Kleinen Fichtenblattwespe optimal, so dass die Weibchen nahezu ihren gesamten Eivorrat ablegen konnten. Zusätzlich waren die Witterungsbedingungen während der 3 bis 4-wöchigen Larvenzeit recht günstig und damit die witterungsbedingte Absterberate gering.

Seit Mitte/Ende Juli ist in einigen Bereichen Bayerns eine deutliche Zunahme des Borkenkäferbefalls (nahezu ausschließlich Buchdrucker) zu erkennen. Vielfach handelt es sich noch um Befall einzelner Bäume oder kleinerer Baumgruppen („Nester“). Allerdings kann ohne konsequente Kontrolle und Aufarbeitung der

befallenen Bäume auch von diesen Bäumen eine erhebliche Gefahr ausgehen, wenn der Befall übersehen bzw. nicht beachtet wird und längere Zeit keine entsprechenden Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Betroffen sind insbesondere Waldgebiete in Schwaben und im westlichen Mittelfranken, die durch den Orkan „Lothar“ im Dezember 1999 geschädigt wurden. Auch im Hochgebirge sind immer wieder Käferbäume zu beobachten, möglicherweise noch eine Folge alter Schneebruchschäden.

Nach wie vor angespannt ist die Borkenkäfersituation im Bereich des Bayerischen Waldes. Durch kontinuierliche Befallskontrollen und Aufarbeitung wurde aber einer weiteren Ausdehnung des Buchdruckers erfolgreich entgegen gearbeitet.

9 Genetische Struktur bewirtschafteter Wälder

Die genetische Variation von Waldbaumpopulationen zu erhalten und zu fördern ist im Hinblick auf die Sicherung der Anpassungs- und Leistungsfähigkeit von Waldökosystemen eine bedeutende Aufgabe. Dieser Aspekt gewinnt aufgrund der sich verändernden Umweltbedingungen vor allem als Folge der Klimaveränderung zunehmend an Bedeutung. Die Erhaltung genetischer Variation wird aber weniger durch gezielte Generhaltungsmaßnahmen verwirklicht, sondern erfolgt in erster Linie im Rahmen einer naturnahen Forstwirtschaft selbst. Jede waldbauliche Maßnahme, von der Bestandserneuerung über die Bestandespflege bis zur Nutzung, kann teilweise erheblichen Einfluss auf die genetische Zusammensetzung der Bestände haben. Dies zeigen neuere Untersuchungen, die durch die Entwicklung sogenannter Genmarker möglich geworden sind.

Genetische Vielfalt zu erhalten und Wälder naturnah zu bewirtschaften lässt sich problemlos miteinander verbinden. Die genetische Zusammensetzung eines Waldbestandes verändert sich im Laufe seiner Entwicklung auch ohne menschlichen Eingriff ganz erheblich. Wenn die Bewirtschaftung diese Auslese nachahmt, bleibt die Veränderung genetischer Strukturen im Vergleich zu natürlichen Abläufen gering. So zeigen Untersuchungen, dass praxisübliche Pflege- und Durchforstungsmaßnahmen in Buchen-, Fichten- und Kieferjungbeständen sich auf die genetische Struktur vergleichsweise gering auswirken. Vom genetischen Standpunkt aus nicht zu empfehlen sind dagegen Eingriffe, die auf eine sehr starke und sehr frühe Verringerung der Stammzahlen

abzielen, weil damit ein starker Verlust an genetischer Vielfalt verbunden ist. Die Förderung von Ausleseebäumen unter gleichzeitiger Belassung der Bäume in den „Zwischenfel-

dern (Abbildung 48). Gute Voraussetzungen hierfür bieten Bestände, die bereits Zwischen- und Unterstand aufweisen. Eine Untersuchung zu den genetischen Verhältnissen an

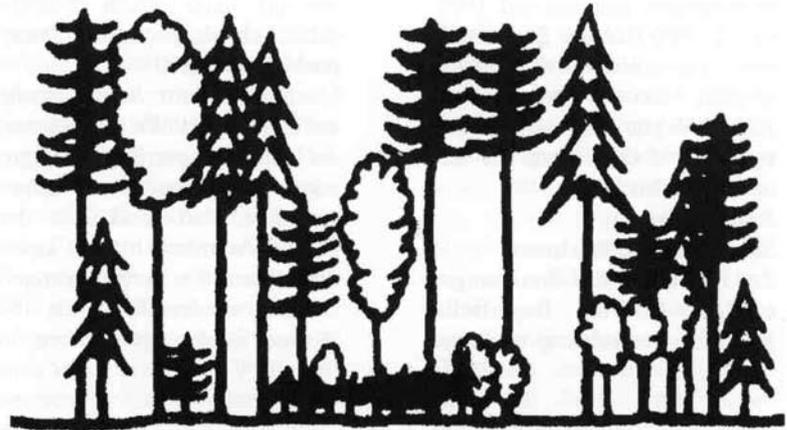


Abbildung 48: Strukturiertes Bestands

„dem“ ist demgegenüber wesentlich günstiger zu beurteilen. Bei der Buche wurde zum Beispiel deutlich, dass sich nachteilige Folgen für die genetische Vielfalt der folgenden Waldgeneration verringern lassen, wenn waldbauliche Pflege- und Verjüngungsverfahren (z. B. Schirmfemelschlag, Lichtwuchsdurchforstung) gewählt werden, bei denen die Verjüngung früh einsetzt, über einen langen Zeitraum erfolgt und sich kleinflächig differenzieren kann. Im Gegensatz zur Auflichtung dicht geschlossener Bestände (z. B. durch Schirmschlagverfahren oder Zielstärkenutzung) wird dadurch der Erhalt und die Weitergabe der genetischen Information an die Folgegeneration gut gesichert.

Ein Ziel naturnaher Bewirtschaftung von Waldökosystemen ist unter anderem auch, vertikale Strukturen (Stufigkeit) zu schaffen und zu för-

dem Tanne zeigt, dass dieser durchaus wertvoller Bestandteil des genetischen Potentials ist. Die Erhaltung dieser Bäume und ihr Hineinwachsen in die Oberschicht des Nachfolgebstandes fördert die genetische Variation der Tanne in solchen Beständen.

Alle bisherigen Untersuchungen zum Einfluss der Waldbewirtschaftung zeigen deutlich: waldbauliche Maßnahmen können die genetische Zusammensetzung unserer Waldökosysteme mehr oder weniger stark beeinflussen. Es sollten daher künftig verstärkt Waldbauverfahren gewählt werden, die die Erhaltung genetischer Variation und damit einen wichtigen Teil der Nachhaltigkeit sichern. Eine Bewirtschaftung nach den Grundsätzen einer naturnahen Waldwirtschaft bietet nach den derzeitigen Erkenntnissen die beste Gewähr dafür.

10 Summary

Monitoring program

Annual crown condition surveys in a systematic grid are confirmed part of the extensive program for environmental control conducted as precaution by Bavarian State Forest Service. This year it was carried through in the dense gridnet of 4 km by 4 km as last time in 1997. Thus, results for forest growth regions, the units of natural area, are made possible. Our monitoring program does include also a set of permanent observation plots covering soil condition and, in particular, 22 Bavarian Forest Climate Stations and their extensive measurements. Integrated evaluation of these and additional data (e.g. meteorological data provided by German Weather Service) enables us to document the health status of our forests and forest soils, to realize trends, and to analyze the interdependence of various factors which influence forests as an ecosystem.

Results in Bavaria

This year's results are based on a systematic inventory of 1671

forest stands and nearly 74.000 trees. If seen for the whole country and all tree species, there is almost no variation of average needle-/leaf loss (19.7 %) compared with previous year, but a remarkable change for the worse of 2.3 points against 1997 (figure 49). This trend, lasting several years already, has caused an increase of considerable defoliation (damage class 2-4) to 25 %, which is six points more than 1997. In vast regions of Bavaria soil water availability for tree roots was severely limited during vegetation periods of 2000 and 2001. This, as well as other natural factors may have influenced results in part but, by themselves, cannot account for a negative trend that is lasting since 1996 already.

In comparison to last year crown condition of **Norway spruce** worsened slightly only but significantly to 1997. Since then, average needle loss has increased continuously by 2.9 points to 19.4 %, considerable defoliation has increased from 19 % to 26 %.

Scots pine does react particularly sensitive to environmental change due to its limited number of needle sets. Considerable defoliation was aggravated since last year by eight points to 25 % since 1997 it has doubled. Average needle loss rose within this period steadily by 4.9 points to 21.6 %.

Results of **White fir** changed markedly for the worse, following years of stagnation on a high level: Average needle loss of 29.7 % and considerable damage of 51 % (last year 43 %) let fir be the tree species, which, for years, has shown by far the greatest damage. This is an extremely negative state for a species that we cannot relinquish, in mountain forests in particular.

The level of average leaf loss of **Common beech** (21.7 %) is about equal to previous years. Marked improvements and deteriorations on regional level counterbalanced each other during last years. Thus, considerable defoliation has increased only by two points to 30 %, compared to last year as well as

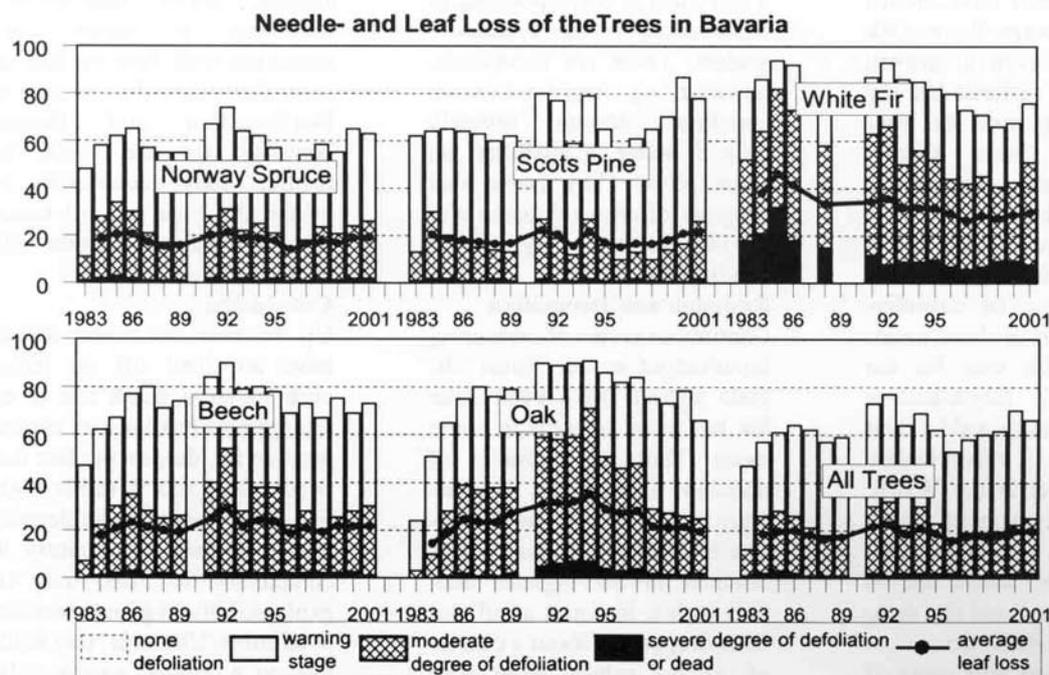


Figure 49: Needle-/leaf-loss and average percentage of loss of main tree species in Bavaria (results of systematic crown condition survey 1983 -2001)

to 1997. Fortunately, we could not find biotic damage caused by lignivorous insects in Bavaria, as they have been reported especially from Belgium.

Oak is recovering continuously. Average leaf loss has almost halved to 19.6 % from a maximum of 35.2 % in 1994. Considerable defoliation improved correspondingly in this period from 71 % to 24 %. Reduction of leaf loss caused by green oak roller moth, oak winter moth, and gipsy moth is the main reason for this improvement. During this year's inventory we found these insects on hardly every tenth oak tree. Secondary pests, which may cause the death of impaired oak trees have been reduced as well. Still, oak's death rate is rather high in comparison to other tree species.

Regional results

There are distinct regional differences in this year's crown condition survey. As against 1997, forest growth regions in north-western Bavaria, which are rich in broadleaved trees, ameliorated in particular. Oak as well as beech have shown much less damage there. Oak has improved even in growth areas that had suffered heavily from drought periods this year (Fraenkische Platte, Keuper and Albvorland, Frankenalb and Oberpfälzer Jura). Norway spruce, beech, and Scots pine in particular have shown a marked increase of considerable defoliation in these areas. The same holds true for the highlands of North-eastern Bavaria (Frankenwald and Fichtelgebirge, Oberpfälzer Wald, and Bayerischer Wald): Considerable damage of spruce and pine has increased substantially there, above all, in the Bayerischer Wald the damage of fir and beech, too.

In the plains and hills south of the river Danube there has been almost no change as compared to 1997. Development of dam-

age in the **Bavarian Alps** must be characterized as alarming, however: The alps continue to be the area in Bavaria having by far the highest level of considerable defoliation (37 %). It is 12 points above the Bavarian average. Considerable defoliation in the Alps had been at 33 % in 1999 and 31 % in 1997. White fir in particular, but also Norway spruce and other broadleaves (mainly white maple) have deteriorated substantially again. Beech trees show a high level of damage of 34 %, which has barely changed since 1994. We have to intensify our measures to conserve protective functions of alpine forests and to recover them, where necessary.

Permanent observation plots

Permanent observation plots in alpine forests confirm the systematic survey's negative outcome in the Bavarian Alps. Seen all over the country, an altitudinal dependence of defoliation becomes apparent, in particular on Norway spruce. Some of the plots have been influenced by local effects, mainly storm damage, whereas crown condition on the majority of plots is corresponding to observations in the systematic gridnet. There are exceptions, however, e.g. improved crown condition despite severely limited water availability on some plots. They prove that progress of crown damage will not only be steered by weather conditions.

Emission and Deposition

Continuous series of measuring input/output at our forest climate stations have been done for ten years already in some cases. Thus, development of pollutant impact has become more and more precise. Reduction of sulphuric emission was initiated in the eighties and, due to this, its input at all stations dropped to about a quarter of original values. Input does exceed 10 kg per hectare only at Goldkronach, Flossenbürg, and Rothenkirchen. Unfortu-

nately forest sites at these stations are acidic by nature and sulphuric input of this amount continues to be a serious threat.

On the other hand, time series of nitrogen deposition have been at a high constant level all across the country. This holds true for coniferous forest stands in particular, as needles do filtrate pollutants effectively for all of the year.

Total acid input (NH_4 , NO_3 , and SO_4) in our forests continues on a high level, having little tendency to decrease. Critical loads of acid deposition that may be neutralized by soils have been exceeded at half of our forest climate stations. Therefore, danger of an increased washout of acids by seeping water will increase, followed by all negative effects for nutrient supply of forest stands as well as pollution of ground water.

Measures of forestry

Silvicultural measures alone will not be able in the long run to compensate excessive deposition, particularly of nitrogen. Transformation of existing stands into site adapted mixed forests, forest management according to nature, and manuring with lime on limited area, this especially on sites in North-eastern and Eastern Bavaria, that are acidic by nature, may contribute to bridge the time gap till measures to reduce emission will become effective.

Conclusion

Up to now Bavarian forests have not died off on larger area. At large, death rate of all tree species has been at natural level so far, despite the fact that needle-/leaf loss is rather high. For some part, average deterioration all over the country in comparison to 2000 may be explained by regional weather conditions. However, this holds true to a limited extent only, concerning the distinct change for the worse we must state since 1997, in particular for

coniferous trees. Levels of emission are too high now as before, mainly of nitrogen (nitrogen oxides and ammonia) and of ozone. For years now, they have been a permanent stress factor, which admittedly is of influence on crown condition and vitality of our forests and our forest soils.

Results of crown condition surveys in Bavaria since 1983 have shown considerable oscillation in the percentage of damage. Periods of relative recovery have alternated with

alarming deterioration. On one hand, this signifies a regenerative capacity of our trees, which is still sufficient, if stress factors cease (oak for example). On the other hand, trees do react sensitively and promptly, if factors of influence change to the negative (silver fir and Scots pine for example). Extent and duration of noxious air pollutants, which have become chronic, of acid deposition into forest soils, and the buffer capacity of soils, which is shrinking in certain

regions (mainly in Northern and Eastern Bavaria), may be particularly decisive for the latter reaction.

Measures to reduce emission continue to have high significance. They have to be intensified, in particular as far as nitrogen is concerned. This holds true with regard to the vigour of our forests, to the preservation of their protective and recreational functions, and to the health of all our inhabitants with them.

11 Literatur

- ARBEITSGRUPPE DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN D. BUNDES U. D. LÄNDER (1998): Boniturschlüssel zur Kronenstruktur der Eiche im Winter
- BAYFORKLIM (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes, 99 S.
- BAYER. LANDESANSTALT F. WALD U. FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (1996): Wald und Klimaveränderung. LWF Aktuell Nr. 7
- BAYER. LANDESANSTALT F. WALD U. FORSTWIRTSCHAFT (LWF): Waldzustandsberichte 1984 - 2000
- BAYER. LANDTAG (2001): Beschluß des Bayerischen Landtages zur Schutzwaldsanierung vom 09.05.2001, Landtagsdrucksache 14/6645
- BAYER. LANDTAG (1985): Erhaltung standortgerechten Waldes. Beschluss vom 18.07.1985, Landtagsdrucksache 10/7619
- BAYER. STAATSMINISTERIUM F. WIRTSCHAFT, VERKEHR U. TECHNOLOGIE (2001): Energieberichte Bayern
- BAYER. STAATSMINISTERIUM F. ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT U. FORSTEN (2000): Forstliches Gutachten zur Situation der Waldverjüngung. 52 S.
- BIERMAYER, G. (2000): Naturnaher Waldbau. Forst und Holz 55, S. 347-350
- BÖSMILLER, T. (o.J.): Luftschadstoffuntersuchungen entlang von Alpen-Transitrouten (vergleichende Auswertung). Studie im Auftrag der Länder Salzburg, Tirol und Vorarlberg sowie der Kantone Graubünden, St.Gallen und Tessin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMVEL) (2001): Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden im Level II-Programm – Methoden und Ergebnisse der Kronenansprache seit 1983, 85 S.
- FORSCHUNGSBEIRAT WALDSCHÄDEN/LUFTVERUNREINIGUNGEN (HRSG.) (1989): 3. Bericht. Karlsruhe
- FRANZ, C., BECKER, TH., HOLLAND-MORITZ, H. (2001): Dauerbeobachtungsflächen – Waldschäden – Kronenentwicklung im Beobachtungszeitraum 1985 bis 1998, mögliche Einflussfaktoren und Ergebnisse der erweiterten Kronenansprache. Materialien der LWF Nr. 01, 103 S.
- GULDER, H.-J., KÖLBEL, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern, Forstliche Forschungsberichte München - Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- GÜNTHARD-GOERG, S.; VOLLENWEIDER P. (2001): Diagnose von Umwelteinflüssen auf Bäume. In: Schweizer Zeitung f. Forstwes. 152, S. 183 – 192
- JUNG, T. (1998): Die *Phytophthora*-Erkrankung der europäischen Eichenarten – wurzelzerstörende Pilze als Ursache des Eichensterbens. Lincom Europa, München-Unterschleißheim, 143 S.
- JUNG, T.; COOKE, D.E.L.; BLASCHKE, H.; DUNCAN, J.M. U. OSSWALD, W. (1999): *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of European oaks. Mycol. Research 103, S. 785-798
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN UNION (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch der EU-Kommission
- LOBINGER, G. (1999): Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden. Berichte aus der LWF Nr. 19.
- MAYER, F.-J. (1999): Beziehungen zwischen der Belaubungsdichte der Waldbäume und Standortparametern – Auswertung der bayerischen Waldzustandsinventuren. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 177, 199 S.
- MATYSEK, R. (1998): Ozon – ein Risikofaktor für unsere Bäume und Wälder? In: Biologie in unserer Zeit, Heft 6, 28. Jahrg.
- MENZEL, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 164, 160 S.
- MÜNCHENER RÜCK (1999): Topics 2000. Naturkatastrophen – Stand der Dinge. 126 S.
- MÜLLER-EDZARDS, CH., DE VRIES, W., ERISMAN, J. W. (1997): Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe, 386 S.
- PERCY, K. E.; CAPE, J. N., JAGELS, R.; SIMPSON, C. J. (1994): Air Pollutants and the Leaf Cuticle. Berlin
- RAPP, J.; SCHÖNWIESE, C.D. (1995): Trendanalyse der räumlich-jahreszeitlichen Niederschlags- und Temperaturstruktur in Deutschland 1891-1990 und 1961-1990. Annalen der Meteorologie 31, S. 33-34
- ROLOFF, A. (1984): Morphologie der Verzweigung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche) als Grundlage zur Beurteilung von Triebanomalien und Kronenschäden. Bericht des Forschungszentrums Waldökosysteme / Waldsterben der Universität Göttingen, Band 3, S. 1-25
- SACHVERSTÄNDIGENAUSSCHUSS D. BUNDESREGIERUNG (1997): Stellungnahme zur Erhebung des Waldzustandes und Empfehlung zur Weiterentwicklung de Verfahrens. In: Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1997. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, S. 169-203
- SANDERMANN, H., WELLBURN, A. R., HEATH, R. L. (1997): Forest Decline and Ozone – A Comparison of Controlled Chamber and Field Experiments, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 400 S.
- STADT NEUSS AM RHEIN: Der Neusser Umweltbericht: <http://www.neuss.de/neuss.html> am 13.07.01
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 380 S.
- UMWELTBUNDESAMT - WIEN (1997): Wachsqualität, Nähr- und Schadstoffkonzentrationen von Fichtennadeln – Untersuchungsergebnisse von 1995. Monographien, Band 90, 133 S.
- WAGNER, K.; WITTKOPF, S. (2000): Der Energieholzmarkt Bayern. Berichte aus der LWF Nr. 26, 109 S.
- WÖLFLE, C.; HÄBERLE, K.-H.; KÖLLING, CH.; REHFUESS, K.E. (2000): Über den Einfluss von wiederholter Ammoniumnitrat-Düngung auf Substrat, Ernährungszustand und Wachstum junger Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) in den Hochlagen des Bayerischen Waldes – Ergebnisse eines Container-Experiments. Forstwissenschaftliches Centralblatt 119.Jg, S. 114-117

Danksagung

Wir danken den Angehörigen der Bayerischen Staatsforstverwaltung aller Laufbahnen, die die Außenaufnahmen zur Kronenzustandserhebung und auf Dauerbeobachtungsflächen in bewährter und zuverlässiger Weise durchgeführt haben. Die Inventurbeauftragten der vier Forstdirektionen haben sie dabei in enger und kooperativer Zusammenarbeit mit dem Inventur- und Auswerteteam der LWF unterstützt.

Dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz und dem Deutschen Wetterdienst danken wir für die Bereitstellung von Daten zur Emissionssituation und zur Niederschlagsverteilung, die in diesen Waldzustandsbericht eingeflossen sind.

Die Kronenzustandserfassung im 16 km x 16 km – Netz (Level I) und die Erhebungen an den bayerischen Waldklimastationen (Level II-Netz) werden von der Europäischen Union finanziell unterstützt.